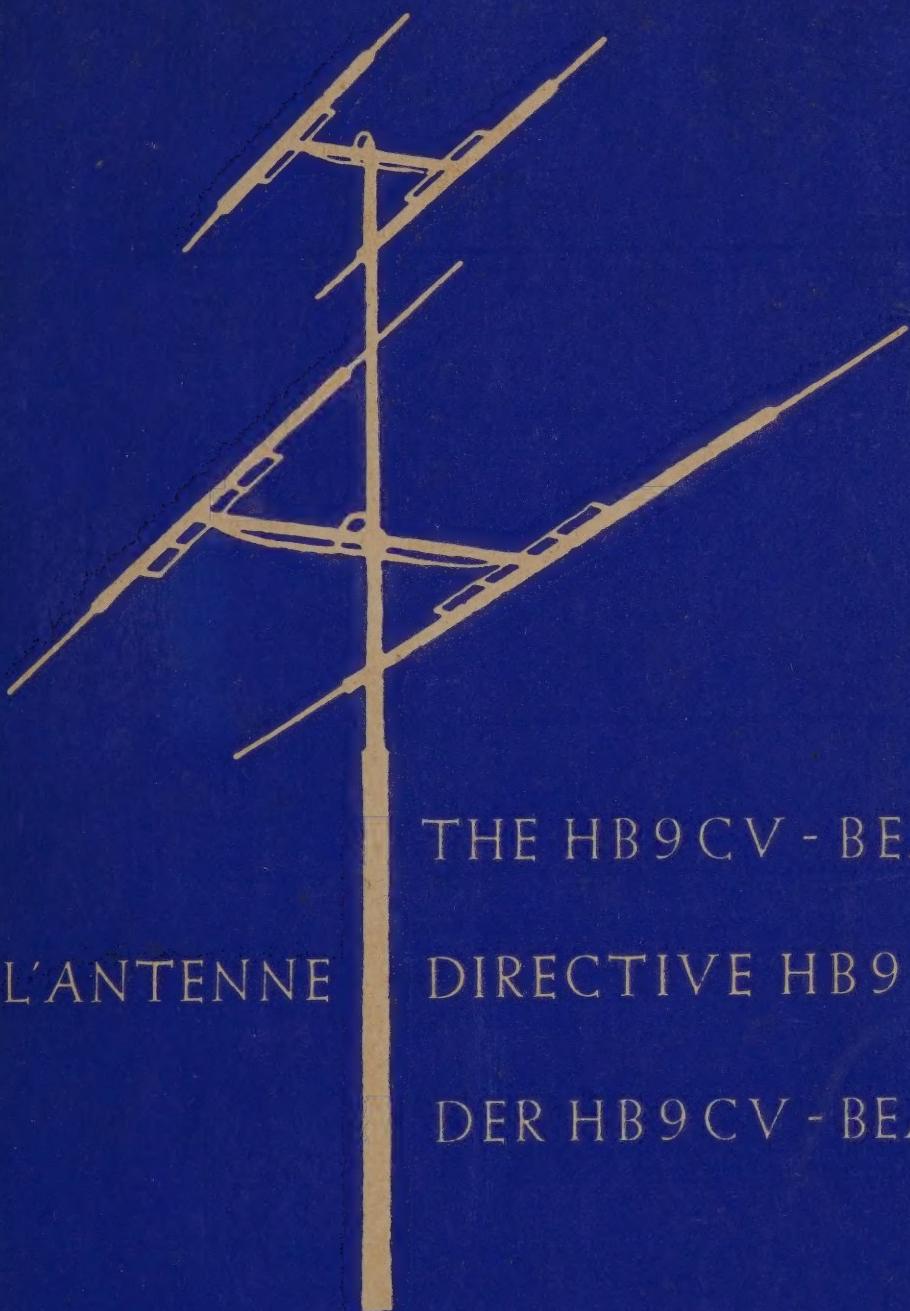


RUDOLF BAUMGARTNER HB9CV



L'ANTENNE

THE HB9CV - BEAM
DIRECTIVE HB9CV

DER HB9CV - BEAM

PUBLISHED BY DL1CU STUTTGART

J. B. Beyer
RUDOLF BAUMGARTNER

DIE

H B 9 C V

R I C H T S T R A H L A N T E N N E

— · —

VORWORT

Die Bedeutung der Antenne braucht heutzutage nicht mehr besonders betont zu werden. Die ständig zunehmende Zahl von UKW- und Fernseh-Richtstrahlern auf allen Dächern ist ein deutlicher Hinweis, daß die Antenne für die Güte der Übertragung offenbar entscheidend ist. Antennentechnik gilt als recht schwieriges Spezialgebiet, das noch keineswegs abgeschlossen ist. Weiterentwicklungen sind besonders lohnend deshalb, weil die erzielbaren Verbesserungen im Verhältnis zu den Kosten oft einzigartig sind.

Der HB 9 CV-Richtstrahler kann als solche Weiterentwicklung betrachtet werden, weil er als Zweielement-Antenne gleich viel leistet, wie eine heute überall gebräuchliche gute Dreielement- oder durchschnittliche Vierelement-Antenne. Wiewohl sich der HB 9 CV-Richtstrahler für UKW-Rundfunk und Fernsehen eignet, bietet er besonders den Radioamateuren auf den Kurzwellenbändern 20, 15 und 10 m Vorteile. Die durch die Wellenlänge bestimmten recht großen Abmessungen von Kurzwellen-Richtstrahlern bedeuten für Amateure, die räumlich und meist auch finanziell stark eingeschränkt sind, ein Problem, das gut überlegt sein muß. Die Tatsache, daß ein Richtstrahler mit nur zwei Elementen eine ungewöhnliche Verbesserung bei Senden und Empfang ermöglicht, mag manchen veranlassen, den Schritt zum Bau dieser Antenne zu wagen.

Der HB 9 CV-Richtstrahler entstand 1954. Seither hat ihn ein kleiner Kreis von Amateuren nachgebaut. Die Urteile sind sehr positiv, zum Teil begeistert. Auf Grund mehrjähriger Betriebserfahrungen konnten elektrische und konstruktive Fragen weitgehend abgeklärt werden, so daß die Herausgabe einer gut fundierten technischen Beschreibung möglich geworden ist. Es wurde besonders auf klare, vollständige und technisch richtige Darstellung geachtet, so daß sowohl Fachleute wie Laien auf ihre Rechnung kommen. Zum guten Verständnis sind ungefähr die radiotechnischen Kenntnisse erforderlich, wie sie zur Erlangung der Amateur-Sendelizenz verlangt werden. Da die zahlreichen Amateurstationen über die ganze Welt zerstreut sind, drängt sich die Herausgabe in wenigstens drei Sprachen geradezu auf.

Die Verwendung von Richtstrahlern auf dem 20-, 15- und 10-m-Band wird immer mehr zum Erfordernis. Der kalte Krieg zwischen Ost und West tritt nirgends deutlicher in Erscheinung als auf dem überfüllten, hoffnungslos gestörten Kurzwellenbereich. Am schlimmsten ergeht es den über 200 000 Amateur-Sendestationen. Sie sind auf schmale Bänder zusammengedrängt, auf kleine Leistungen beschränkt und werden in immer stärkerem Maß durch staatliche und kommerzielle Groß-Sender, die sich mitten auf den Amateur-„Exklusiv“-Bändern breitmachen, niedergedrückt.

Richtstrahlantennen sind eines der wirksamen Mittel, um sich erfolgreicher durchsetzen zu können und gleichzeitig andere Amateurstationen außerhalb der Strahlrichtung weniger zu stören.

Wenn dieses Buch dazu beiträgt, durch Verbesserung der Verkehrsmöglichkeiten Freude zu bereiten und gleichzeitig mithilft, gegenseitige Störungen zu verringern, so hat es seinen Zweck erfüllt. Es wird in 3 Sprachen publiziert, in Deutsch, Französisch und Englisch.

Ganz besonders sei der Verlag erwähnt, dessen Initiative die Herausgabe dieses Buches in gefälliger, internationaler Aufmachung zu verdanken ist.

Bern, den 1. Juni 1961

R. Baumgartner

Hergestellt und verlegt bei Körnersche Druckerei und Verlagsanstalt, Gerlingen/Württ.,
Bildstraße 4 · Copyright by Körner, Stuttgart

Entstehung und Prinzip des HB 9 CV-Richtstrahlers

Die Halbwellen-Dipolantenne ist wohl die klassische Form eines Strahlers für Radiowellen. Als schwingfähiges Gebilde kann sie auf ihrer Resonanzfrequenz zu Schwingungen angeregt werden. Die durch den Sender in der Antenne erzeugten Wechselströme und Wechselspannungen bilden um die Antenne herum sehr schnell entstehende und wieder abklingende magnetische und elektrische Felder von großer räumlicher Ausdehnung. Infolge der endlichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit des elektromagnetischen Feldes von 300 000 km/s kann der äußere Teil der elektrischen und magnetischen Kraftlinien nicht mehr rechtzeitig zur Antenne zurückkehren und wird von der nachfolgenden Kraftlinienfront weggestoßen. Dieses schalenförmige Abstoßen elektromagnetischer Energie in den Raum ist das Phänomen der Abstrahlung.

Mit dieser logischen und einfachen Erklärung¹⁾ kann man sich eine Vorstellung der Energieabstrahlung machen. Obschon der geniale Maxwell schon im letzten Jahrhundert die Gesetzmäßigkeit elektromagnetischer Energieabstrahlung erkannte und in seinen berühmten Feldgleichungen verankerte, ist der genaue Mechanismus, wie eine Sendeantenne Energie abstrahlt, bis heute ein Geheimnis geblieben.

Der Halbwelldipol hat ein Strahlungsmaximum in der Ebene rechtwinklig zum Leiter und ein Minimum in der Achse der Antenne (Abb. 1). Er-

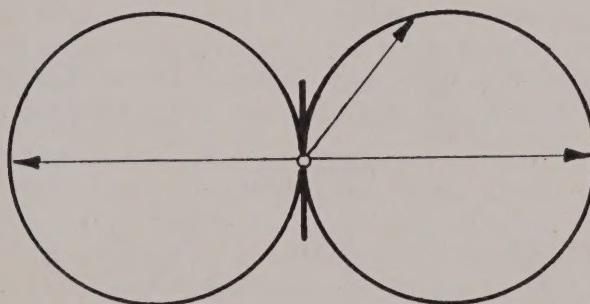


Abb. 1

regt man nun mehrere Dipolantennen gleichzeitig, die zueinander parallel oder in einer Linie liegen, so kann das Strahlungsbild je nach Abstand und Phasenlage verändert werden. Die Veränderung ist die Folge des Zusammenwirkens zwischen den Strahlungen der verschiedenen Dipole. Auf diesem Interferenzprinzip beruhen alle Richtstrahler dieser Art.

Meist besteht das Bedürfnis, die abgestrahlte Energie in eine bestimmte Richtung zu konzentrieren. Eine genial einfache Lösung wurde schon vor vielen Jahren durch den japanischen Wissenschaftler Yagi angegeben. Zwei Dipole werden in geringem Abstand von $\lambda/4$ bis $\lambda/10^*$ parallel zueinander angeordnet. Nur eines der beiden Dipole wird durch den Sender erregt, während das benachbarte zweite Dipolelement durch das sehr nahe elektromagnetische Feld zum Mitschwingen angeregt wird, also parasitär mitschwingt. Wird nun das parasitär erregte Element etwas verlängert, so hat es nicht mehr genau Resonanz mit der Sendefrequenz, ist mit einer induktiven Blindkomponente mit entsprechender Phasenverschiebung behaftet. Die Folge davon ist eine Reflektorwirkung derart, daß die Strahlungen beider Elemente

* λ (Lambda) = Wellenlänge

sich in Richtung A (Abb. 2) unterstützen, in Richtung B entgegenwirken. Umgekehrt kann ein parasitäres Element etwas kürzer als die Resonanzlänge ge-

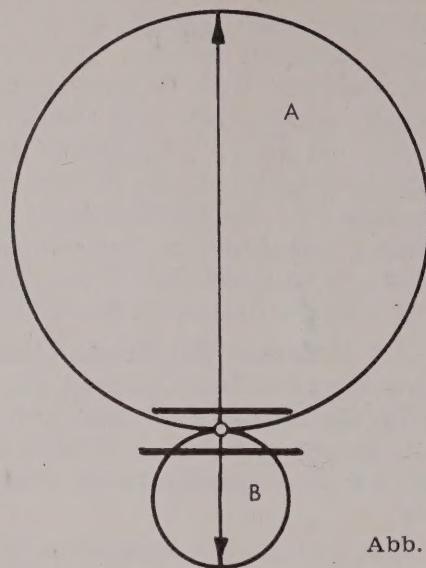


Abb. 2

macht werden, ist dann mit einer kapazitiven Blindkomponente mit Phasenverschiebung in entgegengesetztem Sinn behaftet. Es wirkt als Direktor und muß in der Strahlrichtung gesehen vor dem erregten Dipol liegen. Ein Dipol mit parasitär erregtem Reflektor und Direktor ist die klassische Form der Yagi-Antenne, der Dreielement-Richtstrahler (Abb. 3). Eine solche Antenne

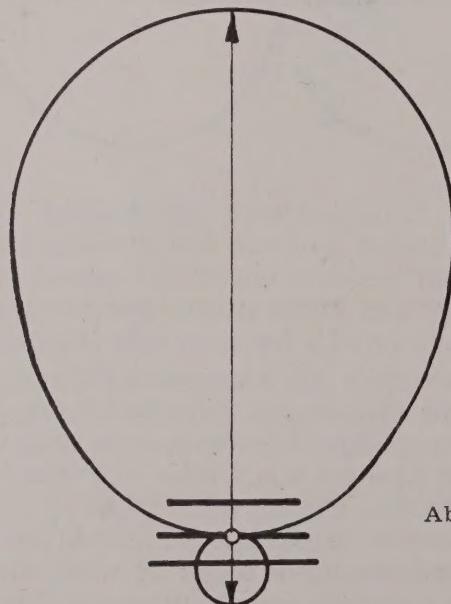


Abb. 3

ist im Verhältnis zum einfachen Dipol bedeutend leistungsfähiger. Durch Hinzufügen weiterer Elemente, insbesondere von Direktoren, wie es bei UKW-Antennen üblich ist, kann der Gewinn weiter erhöht werden. Die Zunahme ist jedoch schon beim vierten Element gering und mit jedem weiteren noch

geringer. Die außerordentliche Verbreitung der Yagi-Antenne liegt darin begründet, daß nur ein einziges Dipolelement gespeist werden muß. Die Antenne kann als Ganzmetallkonstruktion einfach und witterfest gebaut werden.

Nun ist aber der Wirkungsgrad jedes parasitär erregten Dipolelementes recht ungewiß. Jedenfalls kann es einem direkt gespeisten Element nicht als gleichwertig gegenübergestellt werden. Der Gedanke liegt deshalb nahe, Reflektoren und Direktoren nicht parasitär zu erregen, sondern ebenfalls direkt vom Sender in der richtigen Phasenlage zu speisen und dadurch auf einen Wirkungsgrad von nahezu 100% zu bringen. Dadurch müßte rein überlegungsmäßig die Bündelung der Abstrahlung bei nur zwei, aber direkt erregten Elementen ebensogut oder noch besser sein, als bei der Dreielement-Yagi. Es ist heute erwiesen, daß dies wirklich der Fall ist. Die Frage ist nur, ob eine solche Antenne trotz der komplizierten Speisung ebenso einfach und dauerhaft gebaut werden kann wie eine Yagi.

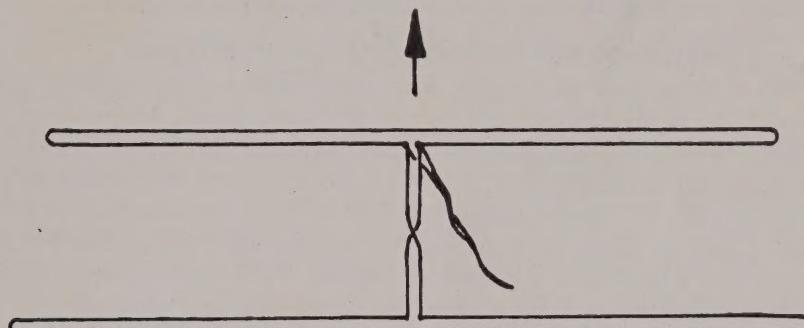


Abb. 4

Bereits 1951 beschrieb H. J. Gruber, W 8 MGP, eine vollgespeiste Zweielement-Richtstrahlantenne, die als Trombone- oder ZL-Special bekannt wurde²⁾. Sie besteht aus zwei Faltdipolen (Abb. 4). Obwohl ihre vorzügliche Leistung erwiesen ist, bedeutet die Konstruktion eines großen Doppel-Faltdipols keine leichte Aufgabe. Ein kräftiges nichtmetallisches Traggestell für beide Faltdipole mit vielen Einzelteilen ist kaum zu umgehen.

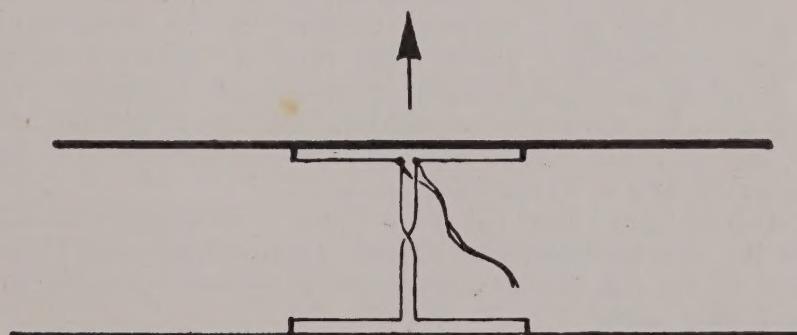


Abb. 5

Der HB 9 CV-Richtstrahler vereinigt nun die elektrischen Vorteile der direkten Speisung beider Elemente mit den mechanischen der Yagi-Konstruktion. Er besteht aus einfachen Dipolelementen, die beide mittels einer doppelten T-Anpassung gespeist werden (Abb. 5). Die besondere Vereinfachung liegt darin, daß das ganze Speisesystem nur aus Kupferdraht besteht. Es kann denkbar einfach montiert werden, seine Kosten sind direkt nebenschließlich, elektrisch ist es jedoch einwandfrei und hat sich in fünfjährigem Gebrauch als witterfest erwiesen.

Charakteristische Merkmale

Im Laufe der folgenden Abschnitte werden die charakteristischen Eigenarten des HB 9 CV-Richtstrahlers eingehend behandelt. Es ist vielleicht zweckmäßig, sie gleich am Anfang in knapper Form zusammenzufassen, um darzulegen, daß diese Antenne in jeder Beziehung günstig abschneidet.

- Kleiner Aufwand im Verhältnis zur Leistung: Ebenbürtig einer optimal abgestimmten Dreielement-Yagi mit großen Elementabständen (wide spaced) oder einer Vierelement-Yagi mit engen Elementabständen (close spaced).
- Unkritisches elektrisches Verhalten: Keine Abstimmarbeiten sind nötig. Nach der Montage ist die Antenne betriebsbereit.
- Gute Bandbreite: Selbst das 10-m-Band von 28 bis 29,5 MHz wird ohne merkbare Einbuße erfaßt.
- Günstige Speisungsverhältnisse: Gutes Stehwellenverhältnis auf der Resonanzfrequenz, das bei Verstimmung nur langsam ansteigt.

Vergleich mit andern Richtstrahlertypen

Es dürfte klar sein, daß es keinen Sinn hat, Drei- und Vierelementanten mit parasitären Reflektoren und Direktoren zu bauen, wenn man mit zwei Elementen des HB 9 CV-Richtstrahlers das gleiche Resultat erzielen kann. Dieser Fortschritt kann besonders auf dem 20-m-Band für viele Sendeamateure von entscheidender Bedeutung werden. Dieses Band erlaubt im Gegensatz zu 10 und 15 m zu allen Zeiten des Sonnenfleckencyklus Fernverbindungen und bleibt das klassische dx-Band. Jedoch sind die Absorptionsverluste schon deutlich größer als auf 10 und 15 m. Dazu kommt, daß es als schmales Band nicht nur durch Amateurstationen vollständig angefüllt, sondern auch noch durch starke kommerzielle Stationen gestört wird. Erfolgreicher Verkehr ist nur möglich, wenn die Signalstärke über dem durchschnittlichen Störpegel liegt. Um dies zu erreichen, ist erfahrungsgemäß eine stärkere Station von etwa 50 bis 200 Watt nötig, die über einen guten Richtstrahler verfügt. Infolge der räumlichen Größe eines 20-m-Richtstrahlers schrecken viele Amateure vor dessen Bau zurück. Zwei Elemente wäre das äußerste, das man noch riskieren könnte, doch ist der Gewinn der parasitären Zweielementrichtstrahler nicht besonders groß. Es wäre fraglich, ob die Verbesserung den großen Aufwand rechtfertigen würde. Hier füllt der HB 9 CV-Richtstrahler eine Lücke, indem er bei vernünftigem Aufwand die genügend große Leistungssteigerung ergibt, um sich erfolgreich durchsetzen zu können. Es besteht kein Zweifel, daß in vielen Fällen der HB 9 CV-Richtstrahler für das 20-m-Band als einzige Lösung in Frage kommen kann.

Nach den Ausführungen über das 20-m-Band ist es selbstverständlich, daß die Resultate bei den weniger schwierigen Verhältnissen auf 15 und 10 m vorzüglich sind, so daß der Bau umfangreicherer Antennensysteme auf diesen Bändern überflüssig wird.

Als sehr wesentlicher Punkt müssen die Mehrband-Richtstrahler berührt werden. Der G 4 ZU-Dreibandrichtstrahler und seine Varianten sind ausgezeichnete Weiterentwicklungen. Er ist schuld daran, daß die vorliegende Beschreibung so spät herauskommt. Der Verfasser glaubte, daß durch die G 4 ZU- die HB 9 CV-Antenne überholt sei. Dem ist jedoch nicht so. Es kommt ganz darauf an, welche Ziele ein Amateur beim Bau eines Richtstrahlers ins Auge faßt. Möchte er ein Gebilde, das gleich auf drei Bändern arbeitet und möglichst wenig Aufwand erfordert, dann ist die G 4 ZU das Richtige. Er muß sich aber klar sein, daß jeder Mehrband-Richtstrahler ein Kompromiß

ist. Leider ist es so, daß ein Dreiband-Richtstrahler auf dem 20-m-Band den kleinsten Gewinn hat, wo der größte nötig wäre und auf dem 10-m-Band den größten, wo bei guten Bedingungen auf Richtstrahlung überhaupt verzichtet werden könnte. Fest steht jedoch, daß der G 4 ZU trotz diesem verkehrten Verhalten im Verhältnis zum Aufwand im Ganzen genommen Vorzügliches leistet. Wer jedoch auf einem oder mehreren Bändern einen Richtstrahler haben möchte, der ohne Kompromiß ein Maximum leistet, dann ist der HB 9 CV eine Lösung. Allerdings muß dann für jedes Band eine separate Zweielement-Antenne gebaut werden. Wie weiter hinten ersichtlich ist, können drei HB 9 CV ohne besondere Schwierigkeiten übereinander montiert werden.

Es ist bekannt, daß selbstgebaute Mehrband-Richtstrahler nur mit Mühe richtig abgestimmt werden können. Wer nicht die technischen Grundlagen besitzt, um die Funktionsweise solcher Antennen klar zu verstehen, tut besser daran, eine solche fertig ab Fabrik zu kaufen. Es ist vielleicht gerade ein besonderer Vorzug des HB 9 CV-Richtstrahlers, daß jegliche Abstimmarbeiten vollständig wegfallen. Er ist deshalb auch zum Selbstbau für Leute geeignet, die keine Erfahrungen mit Richtstrahlantennen haben.

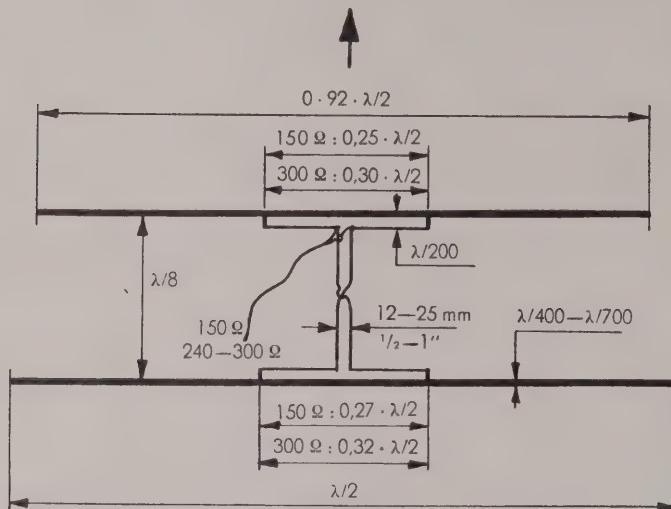
Zu erwähnen sind noch die sogenannten Mini-Beam-Antennen. Jede Antenne kann beliebig verkürzt werden und trotzdem auf der ursprünglichen Frequenz Resonanz haben, wenn die durch Verkürzung verkleinerte Antennenkapazität und -induktivität irgendwie ersetzt wird. Dies geschieht meist durch Spulen im Strommaximum oder mit Endkapazitäten an den Spannungsmaxima. Es leuchtet ein, daß jede Verkürzung die Ausdehnung des elektromagnetischen Feldes um die Antenne herum verkleinert und die Wirksamkeit der Abstrahlung beeinträchtigt. Elektrisch tritt dies in einer Verkleinerung des Strahlungswiderstandes in Erscheinung. Umgekehrt wird der Verlustwiderstand vergrößert, wenn eine Spule mit kleinerem Querschnitt als der Antennenstab zwischengeschaltet wird. Bei Dipolrichtstrahlern mit mehreren Elementen ist der Strahlungswiderstand ohnehin niedrig, etwa in der Größenordnung 10 bis 20 Ohm, während die ohmschen Verlustwiderstände für Hochfrequenz bei Antennen mit Leichtmetallrohren vielleicht 1 bis 2 Ohm betragen. Der Wirkungsgrad liegt dann recht günstig bei 90%. Bei Verkürzung kann bald einmal der Fall eintreten, wo der Strahlungswiderstand auf beispielsweise 5 Ohm absinkt und der Verlustwiderstand auf 5 Ohm ansteigt, womit der Wirkungsgrad nur noch 50% beträgt. Der Verlust der halben Leistung wirkt sich lautstärkemäßig noch nicht stark aus. Jedoch wird durch Zwischenspulen in der Antenne die sinusförmige Strom- und Spannungsteilung gestört und dadurch die Richtwirkung beeinträchtigt. Eine Mini-Beam kommt dort in Frage, wo für die volle Antennenlänge kein Platz vorhanden ist. Reicht der Platz aus, so wäre es schade, sich durch Verkürzung der Elemente um den optimal möglichen Gewinn zu bringen.

Es gibt noch viele Richtstrahlertypen, deren Behandlung hier zu weit führen würde. Es ist aber doch so, daß sich Richtstrahler mit parallelen Dipolen nach der Art der HB 9 CV leicht als drehbare, wetterfeste Antennen in Ganzmetallkonstruktion bauen lassen, während alle komplizierten Systeme schon aus Gründen der Dauerhaftigkeit bedeutend höhere Anforderungen stellen. Den meisten Amateuren geht es doch darum, einen Richtstrahler zu bauen, der Freude und nicht Sorge bereitet. Er sollte deshalb so gut gebaut werden, daß er auf Jahre hinaus standhält und den Besitzer auch bei Sturm und Schnee ruhig schlafen läßt.

TECHNISCHE BESCHREIBUNG

Vollständige Abmessungen der Antenne

Die nachfolgenden Darstellungen enthalten alle zum Bau notwendigen Maßangaben. Es handelt sich um erprobte Erfahrungswerte.



Die Antenne nach Abb. 6 ist die Original-HB 9 CV, welche schon vielfach nachgebaut wurde.

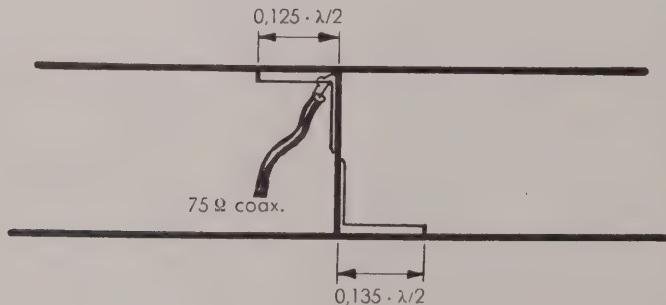


Abb. 7

Abb. 7 stellt die Gamma-Speisung dar, wie sie für Sender mit unsymmetrischem Ausgang in Frage kommt. Der Verfasser möchte hervorheben, daß er mit der Gamma-Speisung keine persönlichen Erfahrungen besitzt und deshalb keine Gewähr übernehmen kann. Es haben jedoch schon mehrere Amateure bestätigt, daß die Gamma-Speisung ebenso gut arbeitet, wie die T-Speisung.

Alle weiteren Detailfragen, die sich an die reinen Maßangaben dieses Kapitels anknüpfen, werden im nachfolgenden technischen und konstruktiven Teil eingehend behandelt. Dort sind auch die Maße dreier Antennen für 20, 15 und 10 m angegeben (Abb. 17).

Lautstärke — Dezibel — Leistung

Bevor man über Antennen im allgemeinen und Richtstrahler im besonderen diskutieren will, muß man sich ein Bild machen können, wie sich die Veränderung der Sendeleistung einerseits und die Antennengewinne von Richtstrahlern andererseits auf die Empfangslautstärke auswirken. Wer damit vertraut ist, mag dieses Kapitel überspringen.

Bei den meisten Radioverbindungen wird das aufgefangene Signal im Empfänger in Schall verwandelt. Eine Radioverbindung wird dann als gut beurteilt, wenn das Eigenrauschen des Empfängers gegenüber der Lautstärke des Signals ganz zurücktritt. Wenn keine fremden Störungen vorhanden sind, ist das Signal, seien es nun Morsezeichen, Sprache oder Musik, völlig klar und ohne Nebengeräusche hörbar. Es hat die Lautstärke S 9 nach der S-Skala des RST-Systems. Erfahrungen haben nun ergeben, daß bei guten Kurzwellenempfängern der Lautstärke S 9 eine Hochfrequenzspannung von $50 \mu\text{V}$ am Antenneneingang entspricht. Die Hersteller von Kurzwellenempfängern eichen die S-Meter mehrheitlich auf dieser Basis.

Nun ist es notwendig, auf den Begriff des **D e z i b e l s (d b)** zu sprechen zu kommen. Das Dezibel ist das logarithmische Verhältnis zweier Leistungen P_1 und P_2 nach der Formel:

$$\text{db} = 10 \cdot \log \frac{P_1}{P_2}$$

db	P
0	x 1
+10	x 10
+20	x 100
+30	x 1000
+40	x 10000
etc.	etc.
-10	x 1/10
-20	x 1/100
-30	x 1/1000
-40	x 1/10000

db	P	db	P	db	P
1	1.26	11	12.6	21	126
2	1.58	12	15.8	22	158
3	2	13	20	23	200
4	2.5	14	25	24	250
5	3.16	15	31.6	25	316
6	4	16	40	26	400
7	5	17	50	27	500
8	6.3	18	63	28	630
9	7.95	19	79.5	29	795
10	10	20	100	30	1000

Abb. 8 Vergleichstabelle Dezibel (db) — Leistungsverhältnis (P)

Die Formel wird leicht verständlich durch die Vergleichstabelle Abb. 8, welche die in der Radiotechnik am meisten vorkommenden Bezugswerte zwischen Dezibel und Leistungsverhältnis angibt.

Die Tabelle Abb. 9 zeigt nun die Zusammenhänge zwischen Lautstärke, Leistungsverhältnis in db, Antennenspannung und Lautstärkeempfindung,

nach dem Ohr beurteilt. Sie wird dem Leser zum sorgfältigen Studium besonders empfohlen, denn die Lautstärkeangaben zwischen Amateurstationen sind heutzutage alles andere als einheitlich.

Lautstärke S	db	Antenne μ V	Lesbarkeit R	Lautstärke	Empfänger-Rauschen
0	-54	0,1	1 1	unhörbar	nur Rauschen
1	-48	0,2	1 1	äußerst schwach	sehr stark
2	-42	0,4	2-4 1-2	sehr schwach	sehr stark
3	-36	0,8	3-5 2-3	schwach	stark, störend
4	-30	1,5	4-5 3-4	noch leise	ziemlich stark
5	-24	3	5 4-5	mittelmäßig	mittelmäßig
6	-18	6	5 5	schon gut	ziemlich schwach
7	-12	12	5 5	ziemlich stark	schwach
8	-6	25	5 5	stark	sehr schwach
9	-0	50	5 5	sehr stark	unhörbar
9	+6	100	cw fone A1 A3		
9	+12	200			
9	+18	400			
9	+24	800			
9	+30	1,6 mV			

Abb. 9.

Zusammenhang zwischen Lautstärke, Leistungsverhältnis in db, Antennenspannung und physiologischer Lautstärkeempfindung.

In der Tabelle wird die Lautstärke S 9 bei der Eingangsspannung 50 μ V als Leistungspegel 0 db angenommen. Für Lautstärken über S 9 ergeben sich dann die gewohnten Bezeichnungen, z. B. S 9 + 12 db, usw., während unter S 9 die db-Angaben negativ werden, was keinerlei Schwierigkeiten verursacht.

Der Schritt von einem S-Punkt zum nächsten beträgt immer 6 db, entsprechend einem vierfachen Leistungsunterschied.

Empfangen wir beispielsweise einen 100-Watt-Sender mit S 9, so sinkt die Lautstärke auf S 8 (-6 db) bei Reduktion der Sendeleistung auf 25 Watt, auf S 7 (-12 db) bei weiterer Reduktion auf 6,25 Watt, usw. Umgekehrt muß zur Erhöhung der Lautstärke um einen S-Punkt auf S 9 + 6 db die Sendeleistung auf 400 Watt erhöht werden.

In der dritten Spalte (Antennenspannung) sieht man, daß zur Erhöhung der Lautstärke um einen S-Punkt die Antennenspannung jeweils verdoppelt werden muß. Das stimmt mit einer Vervierfachung der Leistung überein, denn man kann annehmen, daß der Widerstand einer Antenne konstant bleibt. Ist diese in Resonanz und richtig angepaßt, so sind nur ohmsche Widerstände vorhanden, so daß das Ohm'sche Gesetz für Gleichstrom gilt.

Bei doppelter Spannung und konstantem Widerstand muß sich nach dem Ohm'schen Gesetz $U = I \cdot R$ auch der Strom verdoppeln. Aus der Beziehung $P = U \cdot I$ ergibt sich dann die vierfache Leistung, d. h. die Leistung P steigt mit Erhöhung von Strom oder Spannung quadratisch.

In den Kolonnen Signalstärke, Lesbarkeit und Rauschen werden die Zahlenangaben mit den Empfindungen unseres Ohres in Verbindung gebracht. Damit kann man sich ein Bild machen, welche Verbesserungen durch Erhöhung der Sendeleistung oder durch Antennengewinne erzielt werden können.

So ist ersichtlich, daß die Verdopplung der Sendeenergie sozusagen nutzlos ist, denn der Gewinn beträgt nur 3 dB, also nur $\frac{1}{2}$ S-Punkt. Mindestens die vierfache Sendeleistung ist für eine lohnende Verbesserung nötig. Weiter sieht man, daß der Gewinn eines parasitären Zweielement-Richtstrahlers von 5 dB³⁾ nicht ganz einen S-Punkt ausmacht, was eine deutlich feststellbare aber nicht sehr große Verbesserung bedeutet. Ein Gewinn von 8 bis 10 dB, wie er mit dem HB 9 CV-Richtstrahler erzielt wird, entspricht 1,5 S-Punkten und ist schon recht bedeutend.

Funktionsweise

In der Fachliteratur ist die Behandlung von zwei ungleich langen Dipolen mit kleinem Abstand von $\lambda/8$, die beide gespeist und gleichzeitig strahlungsgekoppelt sind, schwerlich zu finden. Die mathematische Behandlung ist recht schwierig. Man kommt mit logischen Überlegungen und praktischen Versuchen besser vorwärts. Nachdem gute Ergebnisse praktisch erwiesen sind, dürften wissenschaftliche Untersuchungen vielleicht noch weitere Ergebnisse zeitigen. Es ist möglich, die Funktionsweise der Antenne allgemeinverständlich zu erklären.

Der Abstand der beiden Dipole wurde auf einen Achtel der Wellenlänge festgelegt, weil er sich in elektrischer und konstruktiver Hinsicht vorteilhaft erwies. Bei diesem Abstand kommt die beste einseitige Richtwirkung zu stande, wenn das hintere Element dem vorderen um den Phasenwinkel 225° nacheilt ($180 + 45^\circ$) bzw. 135° voreilt ($180 - 45^\circ$). Um zwei Dipole mit dieser Phasenverschiebung als einwandfrei arbeitende Antenne betreiben zu können, müssen drei Bedingungen erfüllt sein:

1. Das Speisesystem muß so angeordnet werden, daß beide Dipole mit der angegebenen Phasenverschiebung erregt werden. Durch verdrehen der Verbindungsleitung zwischen den Dipolen um 180°, der sog. Phasenleitung, entsteht auch elektrisch 180° Phasenverschiebung. Die Laufzeit vom Speisepunkt über die Phasenleitung zum hintern Element über die Länge $\lambda/8$ ergibt eine zusätzliche Verschiebung von 45°.
2. Die Strahlungskopplung muß ebenfalls die gleiche Phasendifferenz von 225° erzeugen, sonst wirkt sie der direkten Speisung entgegen. Das geschieht durch Verlängerung des hintern und Verkürzung des vordern Elementes. Die Antenne besteht dann eigentlich nur aus gespeistem Reflektor und Direktor.
3. Damit die Antenne mit bestmöglichem Wirkungsgrad arbeitet und reflektionsfrei gespeist werden kann, muß sie am Speisepunkt einen rein ohm'schen Widerstand darstellen. Die Elementlängen können tatsächlich so gewählt werden, daß sich die induktive Blindkomponente des Reflektors und die kapazitive der Direktors, auf den Speisepunkt bezogen, ganz kompensieren.

Das Speisesystem

Beide Elemente werden mittels zweier T-Anpassungen erregt, welche durch die Phasenleitung miteinander verbunden sind. Die Sendeenergie wird am vorderen Ende der Phasenleitung eingespeist, wo gleichzeitig die T-Anpassung des Direktors angeschlossen ist. Das ganze System besteht aus Kupferdraht. Am besten eignet sich plasticisolerter Draht, wie er für Hausinstallationen verwendet wird. Der Leiterdurchmesser soll demjenigen der Speiseleitung entsprechen. Zu dieser billigen Form der Speisung führten folgende Überlegungen: Die Hochfrequenzenergie des Senders gelangt an den Speisepunkt der Antenne mit der dem Wellenwiderstand der Speiseleitung entsprechenden Impedanz. Von hier aus gelangt sie über die doppelte T-Anpassung an die Punkte der beiden Dipole mit entsprechender Impedanz. Somit führt die doppelte T-Anpassung inklusive der Phasenleitung fortschreitende Wellen gleicher Impedanz wie die Speiseleitung. Es treten also an keinem Punkt des Speisesystems höhere Spannungen oder Ströme als in der Speiseleitung auf. Somit ist es völlig unnötig, die T-Anpassung aus Rohren anzufertigen.

Symmetrische Speiseleitungen aus Flachkabel (Twin Lead) von 150 oder 240 bis 300 Ohm ergaben gleich gute Resultate, dagegen war ein Versuch mit 75 Ohm Flachkabel ganz unbefriedigend. Der symmetrischen T-Speisung mit 150 Ohm entspricht die unsymmetrische Gamma - Speisung mit 75 Ohm Koaxialkabel.

In der Literatur wird auf die Unvollkommenheit der T-Speisung hingewiesen³⁾. Das zwischen den beiden Anschlußpunkten der T-Anpassung liegende Mittelstück des Dipolrohres bildet von der Speisseite aus gesehen eine Kurzschlußwindung und erzeugt eine unerwünschte Blindkomponente. Durch Serienkondensatoren in den T-Zweigen kann sie kompensiert werden. Versuche ergaben aber, daß die Abstimmung solcher Kondensatoren beim HB 9 CV-Richtstrahler viel zu kritisch ist. Kleinste Abweichungen von der richtigen Einstellung hatten zur Folge, daß sich die Sendeenergie ganz einseitig entweder auf den Direktor oder den Reflektor verlagert. Von solchen Korrekturkondensatoren sei deshalb abgeraten.

Hingegen kann die Blindkomponente der erwähnten Kurzschlußwindung auch durch kleine Längenänderung der Elemente kompensiert werden. Das ist bei der HB 9 CV-Antenne bereits geschehen. Das gute Stehwellenverhältnis zeigt, daß die kleine Unvollkommenheit der T-Anpassung hier bedeutungslos ist.

Die Phasenleitung soll folgende Bedingungen erfüllen:

1. Damit sie nicht strahlt, soll der Abstand der beiden Leiter nicht mehr als 12 bis 25 mm betragen. Er ist unkritisch. Der Wellenwiderstand der Phasenleitung spielt bei der geringen Länge von $\lambda/8$ überhaupt keine Rolle.
2. Die Phasenleitung soll isoliert bleiben, damit die beiden Leiter nirgends gegenseitig Kurzschluß machen oder mit andern Metallteilen Kontakt machen können. Es spielt elektrisch kaum eine Rolle, ob die isolierte Phasenleitung am Querträger aufliegt oder schön distanziert montiert wird.
3. Die elektrische Länge der Phasenleitung soll $\lambda/8$ betragen. Bekanntlich

ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit auf zwei parallelen, isolierten Leitern etwas geringer als die Lichtgeschwindigkeit c und liegt bei etwa 0,9 c. Bei Anordnung der T- oder Gamma-Anpassungen in der Ebene der Elemente, genau wie Abb. 6/7, wird die Phasenleitung automatisch ungefähr 10% kürzer und hat gerade die richtige elektrische Länge von $\lambda/8$. Es kann auch ein 300 Ohm Flachkabel verwendet werden, dessen Fortpflanzungskonstante je nach Fabrikat bei 82 bis 86% von c liegt. Kabel mit kleinerem Wellenwiderstand sollen nicht benutzt werden, da ihre Fortpflanzungskonstante zu klein ist, die elektrische Länge deshalb zu groß würde. Versuche haben ergeben, daß die Abweichungen der elektrischen Länge der Phasenleitung ohne merkliche Nachteile $\pm 10\%$ betragen dürfen.

Zum Schluß dieses Abschnittes einige Hinweise zur Wahl der Speiseleitung. Sie richtet sich in erster Linie nach der Art des Senderausgangs. Bei symmetrischem Ausgang kommt Flachkabel (Twin Lead) von 150 oder 240 bis 300 Ohm in Frage. Dünne Kabel für Empfangszwecke genügen bis zu Leistungen von ca. 200 Watt und Leitungslängen bis höchstens 12 m. Für höhere Leistungen und/oder längere Kabel sollten Senderkabel-Typen mit entsprechend größerem Querschnitt und geringeren Verlusten gewählt werden. Der Verfasser gab dem 150-Ohm-Kabel aus folgenden Gründen den Vorzug: Die Verluste sind nur wenig höher als beim 300-Ohm-Kabel, dafür ist es so schmal, daß es bei mehrstöckigen Antennen leicht durch Bohrungen hindurch in den Vertikalmast eingeführt werden kann. Es braucht nicht vom Metallrohr distanziert zu werden, weil sich sein Wellenwiderstand bei direktem Aufliegen auf Metallflächen nur um 5% verändert, während beim 300-Ohm-Kabel die Veränderung 30% beträgt⁴⁾.

Bei unsymmetrischem Senderausgang ist 75-Ohm-Koaxialkabel mit Gamma-Antennenanpassung am zweckmäßigsten. Auch hier soll sich die Qualität des Kabels, d. h. Leiterquerschnitt und Dämpfungsverluste nach Sendeleistung und Leitungslänge richten. Bei einer guten Speiseleitung sollten die Verluste nicht über 2 db, also nicht mehr als 20% des Antennengewinnes betragen. Die Fabrikanten von Hochfrequenzleitungen geben über Belastbarkeit und Dämpfungen in db pro Längeneinheit Auskunft.

Selbstverständlich können je nach Umständen längs der Speiseleitung auch Impedanztransformationen nach den bekannten Methoden vorgenommen werden³⁾. Die beste und einfachste Methode ist jedoch immer ein durchgehendes homogenes Kabel vom Sender zur Antenne, wobei für reflexionsfreie Energieübertragung sowohl Sender wie Antenne an den Wellenwiderstand der Speiseleitung angepaßt sein sollen.

Resonanzfrequenz und Elementlänge

Die Antenne als Ganzes ist in Resonanz, wenn die Länge beider Dipole $0,96 \cdot \lambda/2$ beträgt. Die gleiche Resonanzfrequenz bleibt erhalten, wenn ein Element gleich viel verlängert, wie das andere verkürzt wird. Bereits bei gleich langen Elementen hat die Antenne eine einseitige Richtstrahlcharakteristik, die jedoch schlecht ist, weil die Phasenlage der Speisung nicht mit derjenigen der Strahlungskopplung übereinstimmt. Durch Versuche wurde festgestellt, mit welchen Längenveränderungen der Elemente die bestmöglichen Eigenschaften der Antenne erzielt werden können.

Gewinn und Vorwärts-Rückwärts- (VR-) Verhältnis

Das Verhalten hinsichtlich Gewinn und VR-Verhältnis in Funktion der Längendifferenz der Elemente ist in Abb. 10 dargestellt. Danach entsteht der größte Gewinn bei der Länge $0,98 \cdot \lambda/2$ für den Reflektor und $0,94 \cdot \lambda/2$ für den Direktor, also einer Längendifferenz der Elemente von rund 4%, während das beste VR-Verhältnis bei 11% Längendifferenz erzielt wird. Beim Mittelwert von 8% resultiert gleichzeitig das Optimum an Gewinn und VR-Verhältnis. Das entspricht einer Reflektolänge von $\lambda/2$ und einer Direktolänge von $0,92 \cdot \lambda/2$. Es sind zwei Gründe, die diese Längen als am günstigsten erscheinen lassen. Die Praxis im Amateur-Weltverkehr zeigt, daß dem VR-Verhältnis eines Richtstrahlers ebenso große Bedeutung zukommt wie dem Gewinn, besonders beim Empfang, wo die Unterdrückung von Signalen aus unerwünschten Richtungen wichtig ist. Noch wichtiger ist, daß die Antenne bei dieser Längendifferenz eine günstige Bandbreite aufweist.

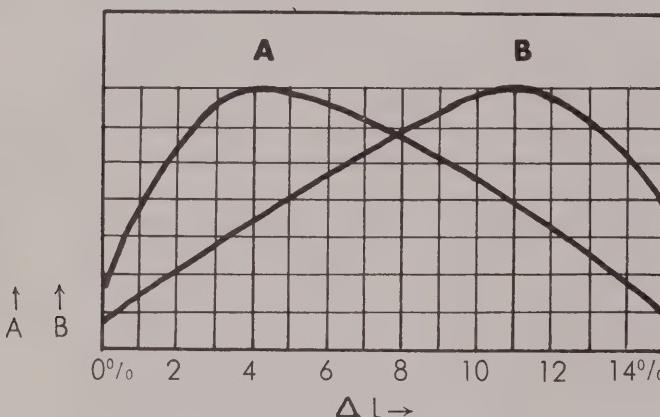


Abb. 10
Gewinn A und
VR-Verhältnis B in
Funktion der
Längendifferenz
der Elemente

Der effektive Gewinn in der Praxis kann mit 8 bis 10 db angegeben werden. Das entspricht einem 6,3- bis 10-fachen Leistungsgewinn gegenüber dem einfachen Dipol. Sind beide Gegenstationen mit einem Richtstrahler für Senden und Empfang ausgerüstet, so addieren sich die Gewinne von Sende- und Empfangsanntenne. Es ergibt sich in diesem Fall ein Gewinn von 16 bis 20 db, lautstärkemäßig eine Zunahme von 3 S-Punkten gegenüber einem Dipol bei beiden Stationen. Auf Grund zahlreicher Beobachtungen und Vergleichsversuche trifft diese Lautstärkeverbesserung im Durchschnitt zu. Natürlich gibt es immer wieder Abweichungen nach oben und unten.

Das VR-Verhältnis konnte erst nach längeren Betriebserfahrungen abgeklärt werden. Es liegt zwischen 10 und 40 db und ist stark abhängig vom vertikalen Einfalls- oder Abstrahlwinkel. Bei Fernverbindungen z. B. zwischen der Schweiz und Kalifornien konnten mehrmals VR-Verhältnisse von 40 db gemessen werden, während bei sog. short skips von einigen 100 km, bei einfacher Ionosphärenreflexion und steiler Strahlung, nur ein VR-Unterschied von 10 db festgestellt wurde. Bei Nahfeldversuchen zwischen zwei Stationen in 8 km Distanz in ebenem Gelände war das VR-Verhältnis immer rund 25 db, was als Mittelwert angegeben werden kann. Jedenfalls ist beim VR-Verhältnis mit sehr großen Abweichungen vom Mittelwert zu rechnen.

Einfluß des Vertikalwinkels

Die geschilderten Unterschiede beim Antennengewinn und besonders beim VR-Verhältnis sind zum großen Teil von der Strahlungscharakteristik der Antenne in der vertikalen Ebene abhängig. Um zu verstehen, wie das Vertikaldiagramm auf das VR-Verhältnis einwirkt, betrachten wir die Darstellung für den freien Raum in Abb. 11. Das Minimum liegt auf der Rückseite

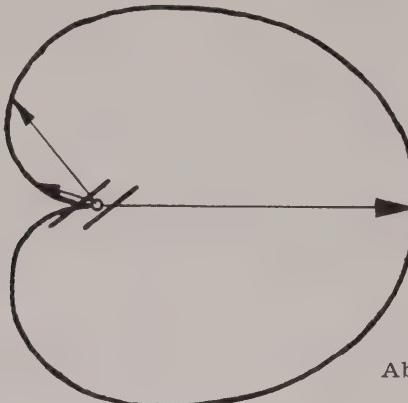


Abb. 11

der Antenne in der Horizontalen. Bei sehr flacher Ab- oder Einstrahlung auf der Rückseite unter etwa 10° Vertikalwinkel, wie sie bei weitentfernten Stationen besonders auf 10 m zu erwarten ist, kann mit sehr gutem VR-Verhältnis gerechnet werden. Aber schon mit etwas steileren Einfallswinkeln nimmt die Rückwärtsunterdrückung schnell ab. Das stimmt mit der Praxis gut überein. Obschon das wirkliche Vertikaldiagramm der Antenne auf der Erdoberfläche nur aus der oberen Hälfte der Abb. 11 besteht und wegen Interferenz durch Bodenreflexion viel komplizierter aussieht, bleibt das Prinzip gültig.

Stehwellenverhältnis und Bandbreite

Der HB 9 CV-Richtstrahler hat auf seiner Resonanzfrequenz ein sehr gutes Stehwellenverhältnis, das nach eigenen und fremden Erfahrungen zwischen 1,05 und 1,2 liegt. Mit dem Stehwellenverhältnis einer Speiseleitung bezeichnet man bekanntlich das Verhältnis zwischen den höchsten und niedrigsten längs der Leitung auftretenden Strömen oder Spannungen. Beim idealen Stehwellenverhältnis 1 sind keine stehenden Wellen vorhanden, die Leitung führt überall gleiche Ströme und Spannungen. Wir haben eine reine fortschreitende Welle mit den kleinstmöglichen Verlusten. Bei Fehlanpassung bilden sich auf der Speiseleitung mehr oder weniger stark ausgeprägte Stehwellen, d. h. Strommaxima mit erhöhten Stromwärmeverlusten und Spannungsmaxima mit erhöhten dielektrischen Verlusten. Deshalb sollen Speiseleitungen hinsichtlich Leiterquerschnitt und Isolationsfestigkeit nicht allzu knapp bemessen sein. Es ist nun wichtig zu wissen, welche zusätzlichen Verluste die Verschlechterung des Stehwellenverhältnisses mit sich bringt. So entstehen bei ansteigendem Stehwellenverhältnis folgende zusätzlichen Verluste⁴⁾:

Stehwellenverhältnis	Zusatzverluste
1 oder 1 : 1	0%
2 oder 2 : 1	25%
3 oder 3 : 1	55%
5 oder 5 : 1	125%

Wenn beispielsweise die Dämpfungsverluste einer Speiseleitung ohne Stehwellen 2 db betragen, so steigen sie beim Stehwellenverhältnis 2 um 25%, also auf 2,5 db. Die Verschlechterung von 0,5 db kann das Ohr nicht feststellen. Man kann also ruhig sagen, daß Stehwellenverhältnisse bis zu 2 hinauf als gut zu bezeichnen sind. Die in Amateurkreisen vielfach herrschende Meinung, das Stehwellenverhältnis müsse unbedingt auf 1,0 gebracht werden, ist zum mindesten übertrieben.

Um auf den HB 9 CV-Richtstrahler zurückzukommen, ist offenbar die Anpassung auf der Resonanzfrequenz nahezu ideal. Als Folge der direkten Speisung beider Elemente kompensieren sich alle Blindkomponenten fast vollständig, so daß die Antenne eine hauptsächlich aus dem Strahlungswiderstand bestehende fast reine Wirklast mit optimalem Wirkungsgrad darstellt.

Beim Abweichen von der Resonanzfrequenz nach unten oder oben kompensieren sich die Blindkomponenten von Reflektor und Direktor nicht mehr. Am Speisepunkt der Antenne treten Energierflexionen und damit eine Erhöhung der Stehwellen auf. Abb. 12 zeigt das Stehwellenverhältnis in Funk-

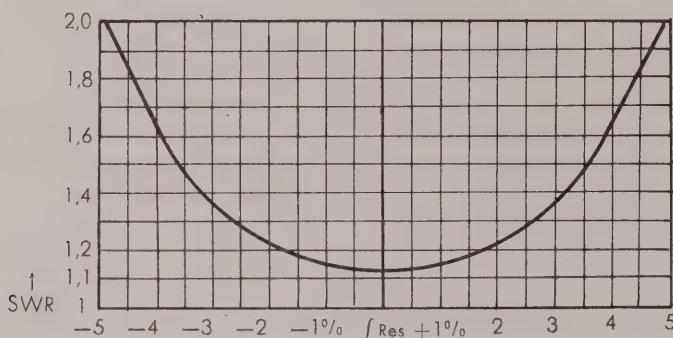


Abb. 12

tion der Frequenz. Wenn die Resonanzfrequenz der Antenne ungefähr in der Mitte eines Amateurbandes gewählt wird, so kann sie bis an beide Bandenden mit gutem Wirkungsgrad betrieben werden. Wenn man eine Bandbreite von $\pm 2\%$ von der Sollfrequenz angibt, so sind nach unsern Erfahrungen weder speisungsmäßig noch strahlungsmäßig irgendwelche Einbußen über den ganzen Bereich feststellbar. Sogar bei $\pm 5\%$ Abweichung von der Resonanzfrequenz verhielt sich die Antenne unerwartet günstig (siehe Strahlungsdiagramm Abb. 14). Die Bandbreite ist demnach auch auf dem relativ breiten 10-m-Band völlig genügend.

Strahlungsdiagramme

Von besonderem Interesse sind praktische Messungen von Strahlungsdiagrammen. Abb. 13 und 14 zeigen als typische Beispiele das Diagramm des 20-m-Drehrichtstrahlers der Station HB 9 MC und des 10-m-Drehrichtstrahlers der Station HB 9 CV, beide gemessen in 8 km Entfernung in ebenem Gelände. Bei allen solchen Messungen sind Unregelmäßigkeiten infolge verschiedenartiger lokaler Einflüsse unvermeidlich. Doch läßt sich gut erkennen, daß die Form der Diagramme mit den geschilderten Eigenschaften in gutem Einklang steht. Besonders zu erwähnen sind die beidseitigen Minima zwischen der Hauptkeule und der ersten Seitenkeule. In diesen beiden Winkel, die in der Regel etwa 100° beidseits der Hauptstrahlrichtung liegen, beträgt die Dämpfung gegenüber dem Hauptstrahl in der Praxis oft 50 bis 60 db! Starke Empfangsstörungen von der Lautstärke S 9, seien es lokale elektrische Störungen oder fremde Stationen auf derselben Frequenz, können mit Hilfe

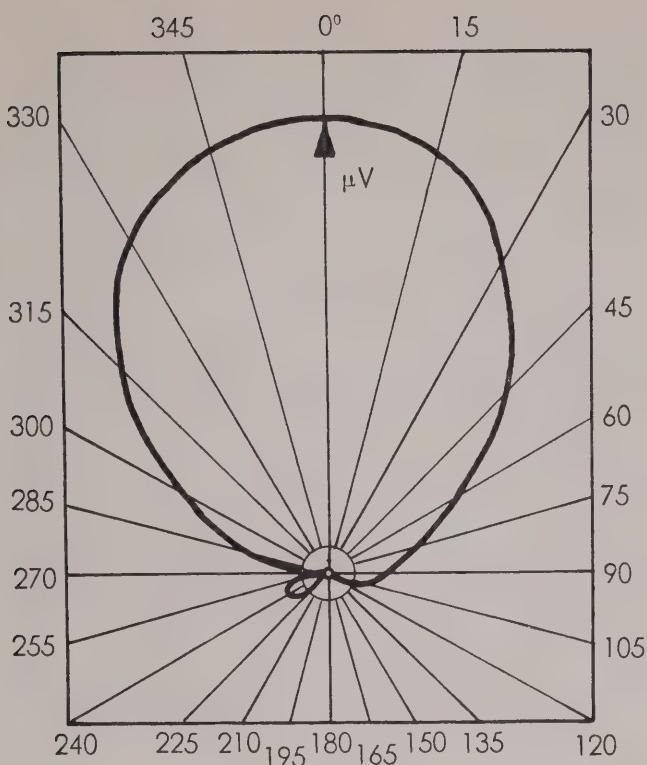


Abb. 13

Diagramm des 20-m-Drehrichtstrahlers der Station HB 9 MC

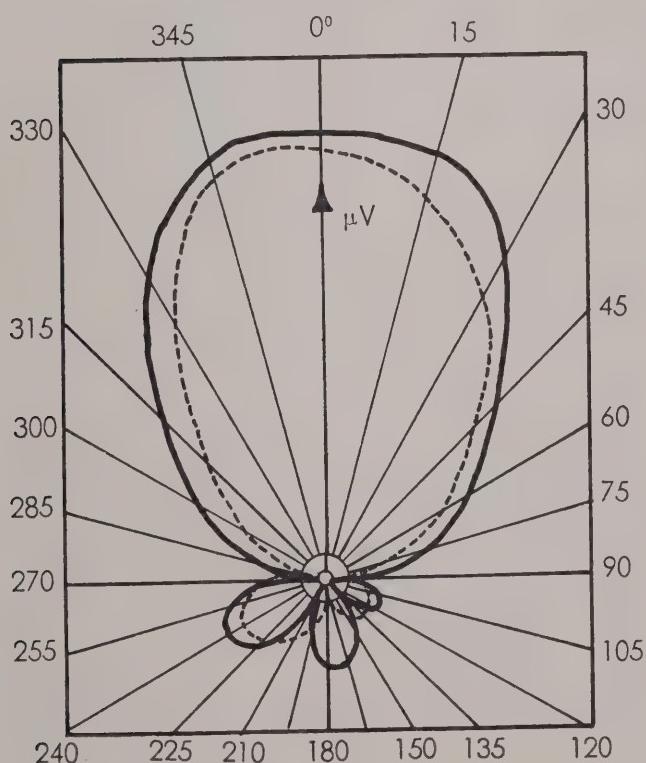


Abb. 14

Diagramm des 10-m-Drehrichtstrahlers der Station HB 9 CV auf der Resonanzfrequenz (ausgezogen) und bei — 5% Abweichung (gestrichelt)

dieser Minima völlig unterdrückt werden, während mit gewöhnlicher Antenne jeder Empfang unmöglich wäre.

Reziprozität

Es wurde bisher nicht auseinandergehalten, ob die besprochenen Eigenschaften für Sende- oder Empfangsantennen gelten. Zur Klarstellung sei erwähnt, daß für Antennen weitgehend das Gesetz der Reziprozität gilt. Die bei einer Sendeantenne festgestellten Eigenschaften wie Gewinn, Strahlungscharakteristik, VR-Verhältnis etc., bleiben auch bei ihrer Verwendung als Empfangsantenne in vollem Umfang erhalten. Die Vorteile eines Richtstrahlers kommen einem also doppelt zugute. Damit wird auch klar, daß mit keinen andern technischen Maßnahmen eine Station gleich viel verbessert werden kann, wie mit einem Richtstrahler. Sendeseitig ist ein Ausgleich durch entsprechende Leistungserhöhung möglich. Empfangsseitig besteht aber keine solche Möglichkeit, da die Empfindlichkeit der Empfänger bekanntlich durch den Stand der Schaltungs- und Röhrentechnik begrenzt ist.

Abstimmung und elektrisches Verhalten

Ein HB 9 CV-Richtstrahler bedarf nach der Montage keiner Abstimmung. Erfahrungsgemäß liegt die effektive Resonanzfrequenz nahe beim gewünschten Sollwert. Ebenso ist von Anfang an das niedrige Stehwellenverhältnis vorhanden. Deshalb ist die Ankopplung an den Sender eine leichte und unkritische Angelegenheit. Die relativ gute Bandbreite der Antenne hat zur Folge, daß selbst bei großen Frequenzschiebungen die Antennenabstimmung am Sender nicht nachgestimmt zu werden braucht.

Gegenseitige Beeinflussung mehrerer Richtstrahlanennen

Wenn am selben Mast mehrere Richtstrahler montiert werden, entsteht die Frage, wie weit sie voneinander entfernt sein müssen, um sich nicht gegenseitig ungünstig zu beeinflussen.

Ein 10-m- und ein 20-m-Richtstrahler sind in harmonischem Verhältnis. Die 10-m-Antenne könnte die andere als Ganzwellenantenne miterregen. Bei näherer Prüfung zeigt sich aber, daß die Kopplung infolge der zentralen Befestigung beider Antennen am selben Mast gerade Null ist. Der Strombauch der 10-m-Antenne liegt dem Spannungsbau der 20-m-Antenne gegenüber, falls diese auf 10 m erregt würde. Somit ist die Gefahr des unerwünschten Mitschwingens praktisch ausgeschaltet.

Eine weitere gegenseitige Beeinflussungsmöglichkeit kommt dadurch zu stande, daß sehr nahe Elemente einer zweiten Antenne für die erste einen geringen kapazitiven Nebenschluß bedeuten und ihre Resonanzfrequenz verschieben. Bei Anordnung mehrerer Richtstrahler in derselben Ebene ist dies bestimmt der Fall und führt zu mühsamen nachträglichen Abstimmarbeiten an der fertigmontierten Antenne. Versuche haben nun ergeben, daß fremde Antennenstäbe bis auf 1/20 der Wellenlänge an die in Frage stehende Antenne angenähert werden dürfen, ohne daß sich eine Verstimmung zeigt, auch wenn die fremden Stäbe länger sind, als diejenigen der in Frage stehenden Antenne. Sind sie kürzer, so darf die Näherung noch etwas enger sein. In der Praxis angewendet sollte also ein 15-m-Richtstrahler etwa 1 m über oder unter einem 20-m-Richtstrahler montiert werden, wenn kapazitive Verstimmungen mit Sicherheit vermieden werden sollen.

Verwendungsmöglichkeiten des HB 9 CV-Richtstrahlers

Wenn wir uns hauptsächlich mit Richtstrahlern für das 20-, 15- und 10-m-Band befassen, so deshalb, weil der Bau großer Gebilde am meisten Fragen aufwirft. Die HB 9 CV-Antenne eignet sich natürlich ebensogut für den ganzen UKW-Bereich. Der Bau ist auf diesen kleinen Wellenlängen sehr leicht und billig. Ihre Bandbreite genügt sogar für die frequenztiefsten Fernsehkanäle. Ebenfalls wird das UKW-Rundfunkband fast ganz erfaßt. Auf den UKW-Amateurbändern ist sie für fixe und portable Stationen bestens geeignet. Es liegen schon viele, zum Teil erstaunlich gute Resultate vor.

Weiterentwicklung

Die Entwicklungsversuche und Messungen für diese Antenne wurden auf dem 2-m-Band durchgeführt. Nach den guten Ergebnissen mit zwei gespeisten Elementen lag es auf der Hand, Versuche mit drei gespeisten Elementen durchzuführen. Leider verliefen sie völlig negativ. Die Ergebnisse waren in jedem Fall schlechter als mit nur zwei Elementen. Die Verhältnisse werden mit drei gespeisten Elementen derart kompliziert, daß es fraglich erscheint, ob auf diese Weise eine lohnende Verbesserung möglich ist. Doch besteht kein Zweifel, daß in andern Richtungen noch Wege offen stehen.

KONSTRUKTION DER ANTENNE

Bei der Konstruktion eines Richtstrahlers geht es zuerst darum, die Wünsche des Erbauers mit den örtlichen Gegebenheiten auf zweckmäßigste Weise in Einklang zu bringen. Da sowohl Wünsche wie örtliche Gegebenheiten von Fall zu Fall stark verschieden sind, werden in der folgenden Beschreibung auch andere konstruktive Varianten erwähnt, als diejenigen, die der Verfasser wählte. Die Antennenkonstruktion auf etwas breiterer Basis zu behandeln, wird es dem Einzelnen leichter machen, die für seinen Fall günstigste Lösung zu finden.

Einfluß von Standort und Antennenhöhe

Die nähere und weitere Umgebung einer Station ist für die Abstrahlung der Antenne bekanntlich von großem Einfluß. Die abschirmende Wirkung von Bergen ist jedermann bekannt und kann natürlich auch von einem Richtstrahler nicht überwunden werden. Eine Antenne strahlt am besten in ebenem freiem Gelände mit gut leitendem Boden. Hier addieren sich die direkte und die vom Boden reflektierte Strahlung. Wohl der beste Standort ist ein hindernisfreier flacher Hügel mit guter Bodenleitfähigkeit. Bergspitzen und sehr hohe Gebäude sind eher ungünstiger, weil die Bodenreflexion unbestimmt und meist schlechter ist. Schiffe auf hoher See haben dank der leitenden Meeresoberfläche hervorragende Abstrahlungsverhältnisse.

Die weitaus meisten Stationsstandorte in Städten und eng bewohnten Quartieren verlieren den größten Teil der Bodenreflexion wegen der zahlreichen Bodenhindernisse der näheren Umgebung. Vielfach wird sogar die direkte Strahlung durch hohe Bauten der Umgebung beeinträchtigt. Der Unterschied zwischen einem solch schlechten städtischen und einem guten ländlichen Standort liegt in der Größenordnung von 10 db.

Ein Richtstrahler erzeugt an jedem Standort die gleiche Verbesserung. Wird er an einem schlechten Standort benutzt, so besteht Aussicht, mit 50 bis 200 Watt Leistung immerhin ein überdurchschnittliches Signal zu erzielen, das zeitweise für gute Fernverbindungen auch in Telefonie ausreicht.

Wer das Glück hat, auf jenem idealen Hügel zu wohnen, kann sich mit einem Richtstrahler den Spaß leisten, mit 20 Watt die gesamte Konkurrenz zu überspielen, besonders deshalb, weil er schwache Stationen hört, die in städtischen Verhältnissen wegen der schlechteren Lage und dem höheren lokalen Störpegel unhörbar bleiben.

Die Höhe der Antenne über Boden ist für die Abstrahlung von großer Bedeutung. Es wird empfohlen, dieses Kapitel in Fachbüchern zu studieren^{1) 3)}. Allerdings muß einschränkend gesagt werden, daß eine theoretisch günstige Antennenhöhe nur dann mit der Praxis übereinstimmt, wenn ein Richtstrahler auf einem Mast in freiem Gelände steht. Solche Ideallösungen sind selten zu verwirklichen. In engbebauten Ortschaften bewirken die vielen metallischen Leiter in den Häusern (armierter Beton, Leitungen aller Art, Blitzschutz etc.), daß das Erdpotential in die Höhe gehoben und die effektive Antennenhöhe demzufolge vermindert wird. Deshalb ist die Frage der Antennenhöhe für die meisten praktischen Fälle leicht zu beantworten, nämlich: so hoch wie möglich. Als naheliegende Lösung werden Richtstrahler auf Hausdächer montiert. Man kann sie auch auf einen hohen Gittermast aufbauen, was die zweite, bedeutend teurere und konstruktiv schwierigere Variante darstellt.

Wenn sich ein Richtstrahler auf gleicher Höhe befindet wie die Dachgiebel der Nachbarschaft oder diese gar überragt, dann kann bestimmt mit guten Resultaten gerechnet werden. Erfahrungen haben gezeigt, daß Gebäude für Kurzwellen unter 30 MHz noch recht durchlässig sind. Erst im UKW-Bereich werden sie zum undurchlässigen Hindernis. Als erfreuliche Tatsache kann festgehalten werden, daß selbst sehr niedrige Richtstrahler inmitten von Hauswänden über Erwarten gute Resultate zeigten. Fixe Richtstrahler, die im Estrich als Innenantenne aufgehängt wurden, haben weit bessere Lautstärken ergeben als im Freien und höher gelegene gute Normalantennen (center fed, Zepplin, Windom, etc., ausgenommen vielleicht eine gute Ground Plane). Deshalb sollen zuerst solche einfachste Richtstrahler besprochen werden.

Fixe Richtstrahler aus Draht, Innenantennen

Es gibt gute Gründe, weshalb ein Amateur keinen Drehrichtstrahler auf seinem Dach aufbauen will oder kann, aber trotzdem gerne Versuche mit Richtstrahlung unternehmen möchte. Oft geht es ihm nur darum, in einer Richtung zu senden, in der sich seine bevorzugten Freunde befinden; oder er möchte für eine bestimmte Richtung, nach welcher seine normale Antenne schlecht arbeitet, als Ergänzung einen möglichst einfachen und billigen Richtstrahler bauen; oder er möchte einfach, bevor er Geld und Zeit für einen Drehrichtstrahler opfert, mit einer provisorischen Einrichtung feststellen, ob tatsächlich im Vergleich zu den vorhandenen Antennen eine Verbesserung zu erzielen ist.

In allen solchen Fällen kommt ein HB 9 CV nach Abb. 6 in Frage, der nur aus Draht besteht und an passender Stelle aufgespannt wird. Größere Estrichräume eignen sich gut, falls sie für die gewünschte Richtung der Antenne Platz bieten. Ist der Raum nur wenig zu klein, so können die Enden der Antenne ohne große Bedenken nach unten geklappt werden. Natürlich sollten in unmittelbarer Nähe der Antenne keine andern Drähte oder Leitungen vorhanden sein.

Auch im Freien kann ein solcher Draht-Richtstrahler zwischen Bäumen, Gebäuden oder einfachen Holzmasten montiert werden. Wie die beiden Elemente am besten im richtigen Abstand aufgehängt werden, richtet sich nach den Gegebenheiten und sei der Phantasie des Einzelnen überlassen.

Bei allen solch einfachen Konstruktionen sind folgende Punkte zu beachten. Die Antennenströme sind wegen des niedrigen Strahlungswiderstandes recht hoch. Deshalb wähle man genügend dicken Draht. Desgleichen sind die Spannungen an den Dipolenden hoch und erfordern gute, genügend lange Isolatoren, damit die Endkapazität gegenüber dem Abspanndraht keine Verstimmung verursachen kann. Es ist bei Drahtkonstruktionen schwierig, den Abstand der T-Anpassungen vom Dipolelement so groß zu machen, wie angegeben. Er darf ohne merkliche Folgen kleiner und sogar unregelmäßig sein, doch sollten die T-Teile isoliert bleiben, damit sie nirgends mit den Mittelteilen der Dipole Kontakt machen können.

Wenn die Elemente aus Draht statt aus Rohren bestehen, muß ihre Länge etwas größer sein. Leider können keine Erfahrungswerte angegeben werden. Es wird vorgeschlagen, als Reflektorlänge $1,02 \cdot \lambda/2$ und als Direktorenlänge $0,94 \cdot \lambda/2$ zu wählen. Wenn das Stehwellenverhältnis zu hoch ist, sollte es nicht zu viel Mühe verursachen, durch kleine Längenänderungen das kleinste Stehwellenverhältnis und damit den Resonanzpunkt zu finden. Zu beachten ist natürlich, daß die Längendifferenz zwischen Reflektor und Direktor immer 8% bleibt.

Drehrichtstrahler in Ganzmetallkonstruktion

Ein Richtstrahler bietet erst dann vollen Nutzen, wenn er schnell und leicht in jede beliebige Himmelsrichtung gedreht werden kann. Am zweckmäßigsten lagert man den vertikalen Tragmast in zwei großen Kugellagern, so daß die Antenne als Ganzes drehbar ist. Auf diese Weise können die Lager innerhalb des Hauses in geschützter Lage angeordnet werden und sind jederzeit zugänglich. Unterteilt man die Antenne in einen fixen untern und einen drehbaren obern Teil, so muß man die Lager zwischen dem festen und drehbaren Mastteil in unzugänglicher Lage anordnen. Man kann sie nicht kontrollieren und sie können leicht durch Nässe zerstört werden.

Ein Drehrichtstrahler muß mechanisch robust sein und einen geringen Windwiderstand haben, damit er auch bei Sturmwind in jede beliebige Richtung gedreht werden kann. Eine reine Metallkonstruktion (plumbers delight) eignet sich weitaus am besten. Jede gemischte Konstruktion Metall/Holz hat eine kürzere Lebensdauer.

Man kann nun einen, zwei oder drei Richtstrahler übereinander am selben drehbaren Mast anordnen. Ein Antennensystem mit drei Richtstrahlern für 20, 15 und 10 m (Abb. 15) hat ein Gesamtgewicht von 40 bis 50 kg. Es ist ein recht auffälliger Tannenbaum, der aber wegen seines guten Gewinns auf allen drei Bändern vorzügliche Verbindungsmöglichkeiten bietet. Es ist aber zu bedenken, daß ein solch dreifaches Antennensystem vom durchschnittlichen Amateur, der nur wenig Freizeit für seine Liebhaberei zur Verfügung hat, schlecht ausgenutzt wird. Viele haben sich deshalb auf nur eines oder zwei dx-Bänder spezialisiert und kommen mit einem oder zwei Richtstrahlern aus. Welchen Aufwand man treiben will, liegt im Abwägen des Einzelnen.



Abb. 15

Gesamtansicht des Drehrichtstrahlers der Station HB 9 CV. Zuunterst der 20-m-Beam, 1 m darüber der quergestellte 15-m-Beam und zuoberst der 10-m-Beam. Die Querstellung des 15-m-Beams ist nicht unbedingt notwendig, da auch bei Parallelstellung keine gegenseitigen elektrischen Rückwirkungen zu erwarten sind. Das Antennensystem hat zwei schwere Stürme, bei denen Fernsehantennen der Nachbarschaft geknickt wurden, heil überstanden.

Mechanische Festigkeit

Ganz allgemein werden die zerstörenden Wirkungen der Witterungseinflüsse unterschätzt. Es ist ganz unglaublich, wie schnell ein Richtstrahler durch Sturm, salzige Meeresluft, Schnee, Vereisung, Regen und Sonne angegriffen wird, sei es nun Korrosion oder mechanische Beschädigung. Stahl- und Eisenteile können auch durch beste Schutzanzüge nur auf kürzere Zeit von 1 bis 3 Jahren vor Rost bewahrt werden. Aluminiumlegierungen halten sich wegen ihrer zähen Oxydhaut besser, aber auch nur, wenn sie sich nicht in der Nähe des Meeres befinden.

Ein Drehrichtstrahler kann deshalb nicht robust genug sein. Man wähle lieber eine zu schwere als eine zu leichte Konstruktion. Auch hüte man sich vor allzu hohen schlanken Masten, die in Schwingungen geraten und bei Sturmböen knicken können. Man sei sich bewußt, daß man für Schäden an Personen und Sachen, die durch herunterstürzende Antennenteile entstehen können, die volle Verantwortung trägt. Wohl schützt eine Haftpflichtversicherung vor finanziellen Verlusten. Sie soll einen aber nicht von der Verpflichtung entheben, durch gewissenhafte Antennen-Konstruktion das Eintreten von Schäden oder Unglück überhaupt zu vermeiden.

Vertikaler Tragmast und Antennenmontage

Als Beispiel wird nachfolgend der dreifache Drehrichtstrahler nach Abb. 15 beschrieben. Die Konstruktion hat fünf Jahre in Wind und Wetter ohne Defekt überstanden.

Der Vertikalmast ist so angeordnet, daß die Montage der Antenne Schritt für Schritt vonstatten gehen kann, ohne daß akrobatische Höchstleistungen unter Lebensgefahr nötig sind. Es besteht aus zwei Eisenrohren von 60 und 48 mm Außendurchmesser, welche ineinander geschoben werden können. Die erste Bauphase besteht in der Vorbereitung der beiden Drehlager im Innern des Hauses und des Dachdurchbruchs. Die wasserdichte Dachdurchführung (Fig. 16) läßt man sich am besten durch einen Spengler aus galvanisiertem Eisenblech oder Kupferblech anfertigen. Hierauf können beide ineinander geschobenen Mastrohre im Innern des Hauses fertig montiert werden. Auch der Antrieb und die Richtungsanzeige kann bereits eingerichtet werden. Das obere Ende des Mastrohrs soll soweit zum Dach hinausragen, daß man es bequem erreichen kann. Nun folgt die zweite Bauphase, das Montieren der eigentlichen Antenne auf dem Dach. Sie wird am Boden in drei Teilen vorbereitet: Der Querträger mit der darauf verlegten Phasenleitung und den vier losen Enden der T-Anpassung sowie der bereits angeschlossenen, aufgerollten Speiseleitung. Dann werden auch Reflektor und Direktor zusammengesetzt und mit den Anschlußträgern für die T-Anpassung versehen. Nun wird auf dem Dach das innere Mastrohr ein wenig aus dem äußeren herausgezogen und zuerst der Querträger und dann die Elemente montiert. Schließlich wird die Speiseleitung im Innern des Mastes hinuntergelassen. Falls noch eine zweite und dritte Antenne montiert werden soll, wird der innere Mastteil mit der ersten Antenne einfach um den Höhenunterschied von ca. 90 cm bis zur zweiten Antenne gehoben und diese dann in genau gleicher Weise befestigt. Auf diese Weise können drei Antennen nacheinander in bequemer Lage knapp über dem Dach montiert werden.

Nach beendigter Montage wird der obere Mastteil auf die volle Höhe ausgefahren und im oberen Ende des untern Mastrohres fixiert. Wegen großer Drehkräfte bei Sturmwind muß die Fixierung sehr kräftig sein. Im Endzustand sollen beide Rohre noch 25 bis 30 cm ineinandergeschoben sein. Das Spiel zwischen beiden Rohren wird durch zwei Metallringe, die am innern Rohr aufgeschaubt oder aufgelötet (Hartlot) sind, nahezu ausgefüllt. Das obere Ende des untern Mastrohres wird mit zwei gegenüberliegenden Längsschlitten von 10 cm Länge versehen. Mit Hilfe einer kräftigen Eisenzwinge kann so das obere Mastrohr im untern sicher festgeklemmt werden. Alle Fugen werden mit Schiffskitt sorgfältig abgedichtet und mit guter Schutzfarbe (z. B. Aluminiumbronze) mindestens zweimal gestrichen (Abb. 16).

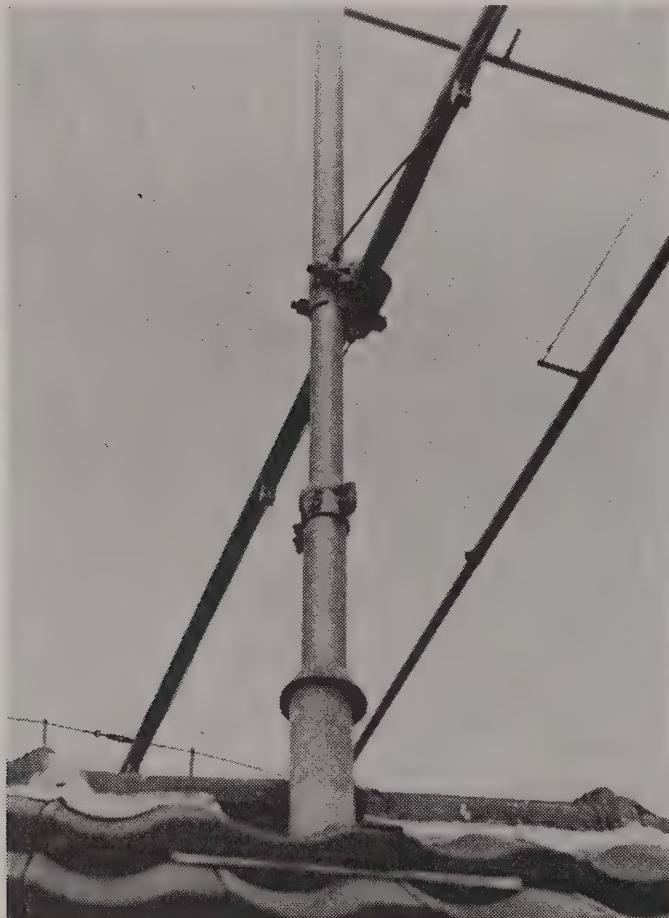


Abb. 16

Konstruktion der eigentlichen Antenne

Als Querträger haben sich für alle drei Antennen (10, 15 und 20 m) Stahlrohre von 33 mm Außendurchmesser und 2 mm Wandstärke bewährt. Für die Elemente sind Leichtmetallrohre aus einer harten Aluminiumlegierung am besten geeignet (Dural, Anticorodal, etc.). Es wurden Duralrohre der Dimensionen 32 x 2, 28 x 2 und 24 x 1 mm gewählt. Die Elemente der 20-m-Antenne bestehen aus 5 Teilen, diejenigen der 15- und 10-m-Antennen aus je 3 Teilen. Abb. 17 enthält die Maßangaben der drei Antennen, während in Fig. 18 alle benötigten Rohrteile aufgeführt sind. Je nach Land und Lieferant sind nicht genau diese Rohrdimensionen erhältlich. Sie können ohne weiteres leicht abweichen, jedoch sollten sie nicht mehr als 20% kleiner im

			14-Mc-Beam	21-Mc-Beam	28-Mc-Beam
			*f = 14150 kc	f = 21200 kc	f = 28500
			**λ = 21.20 m	λ = 14.16 m	λ = 10.52 m
			cm	inches	cm
			cm	inches	cm
Reflektorlänge	λ/2		1060	417	708
Direktorlänge	0.92 · λ/3		974	384	652
Elementabstand	λ/8		265	104	177
T-Anpassung Reflektor	0.27 · λ/2		286	112	191
T-Anpassung Direktor	0.25 · λ/2		265	104	177
Abstand T-Anpassung zu Element			12	5	70
				9	3½
					6
					2½

Abb. 17 Maßangaben für einen 14-, 21- und 28 MHz-Richtstrahler

Durchmesser sein. Auch die Wandstärke sollte im Hinblick auf Schneelasten und Sturmböen nicht wesentlich geringer sein. Auf jeden Fall ist aber zu beachten, daß die verschiedenen Rohrdurchmesser gerade passend ineinander geschoben werden können. Man fixiert zwei Rohrteile am besten, indem das äußere Rohre mit einem oder zwei Längsschlitten versieht und mit einem Schlauchband mit Schraube zusammenklemmt. Solche im Automobilbau üblichen Schlauchbänder erhält man in Auto-Zubehörfirmen. Falls sich zwei Rohre gerade nicht ineinanderschieben lassen, weil der Außendurchmesser des dünnern gleich wie der Innendurchmesser des dickern ist, schlitzt man am einfachsten beide Rohre. Abfeilen oder schmirlgeln von Hand ist sehr mühsam.

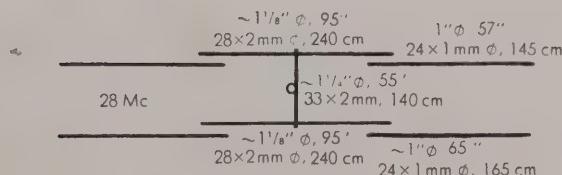
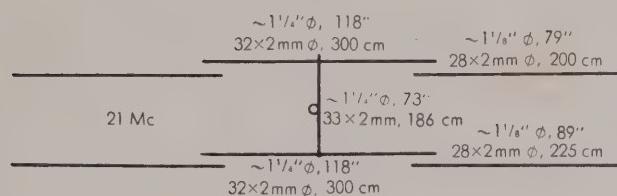
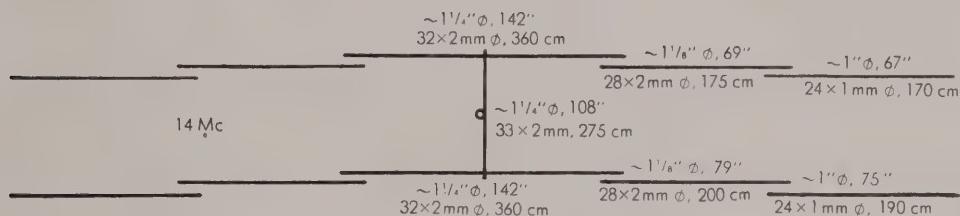


Abb. 18

Für die Befestigung des Querträgers am Vertikalmaст und der Elemente am Querträger eignen sich die sog. Kreuzverbinder, wie sie bei metallenen Baugerüsten in den meisten Kulturländern gebräuchlich sind. Man wende sich an Baufirmen. Wer eine andere Verbindungsart wählt, muß darauf achten, daß die Elemente in der Mitte an einem einzigen Punkt befestigt sein müssen, wo die Antennenspannung Null ist. Keinesfalls darf ein metallener Tragbügel mit zwei Befestigungspunkten verwendet werden, weil dadurch eine Kurzschlußwindung entsteht, die den größten Teil der Sendeleistung in Wärme verwandelt. Überall, wo sich verschiedenartige Metalle berühren, treten mit der Zeit Korrosionen auf. Eine ganz dünne Zwischenlage aus Isoliermaterial genügt bereits als Korrosionsschutz. Wenn die Gamma-Speisung gewählt wird, müssen die Mittelpunkte beider Elemente über den Querträger elektrisch gut miteinander verbunden sein, da der Querträger hier zum Speisesystem gehört. Auf isolierende Zwischenlagen muß in diesem Fall verzichtet werden.

Die weiteren Einzelheiten der Antennenkonstruktion gehen am besten aus den Abb. 19 bis 23 hervor. Das Speisesystem ist an der Unterseite des Querträgers befestigt und liegt mit den ebenfalls an der Unterseite des Querträgers hängenden Elementen in derselben Horizontalebene. Wie bereits erwähnt, hat sich plasticisolierter Kupferdraht für die T-Speisung und Phasenleitung bestens bewährt. Die Isolation wird nur gerade dort entfernt, wo Lötverbindungen nötig sind. Die kleinen, am Querträger aufgeschraubten Isolatoren sind in unserem Fall sog. Lüsterklemmen aus Porzellan, wie sie bei Lichtinstallationen üblich sind. Die Metalleinsätze wurden daraus entfernt. Wo solche Isolatoren nicht erhältlich sind, können andere geeignete Teile, am besten aus keramischem Material benutzt werden. Elektrisch werden an diese Isolatoren geringe Anforderungen gestellt, da die Spannungen bei der niedrigen Impedanz nicht hoch sind und zudem die Drähte um den Isolator herum selbst isoliert gelassen werden. Ebenso sind die auftretenden Zugkräfte gering.

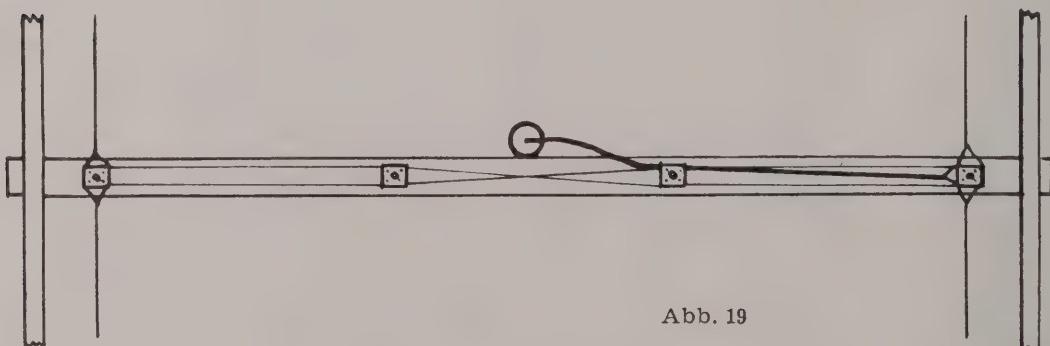


Abb. 19

Beim 20-m-Richtstrahler sind zwei durch seine Größe bedingte Besonderheiten zu beachten. Die Elemente hängen wenig, doch deutlich sichtbar durch. Sie wurden deshalb abgespannt mit Hilfe von zwei keramischen Stützen und einem darüber führenden galvanisierten Eisendraht, wie in Photo Abb. 23 sichtbar. Der Draht soll mindestens mit vier Isolatoren unterteilt sein, damit keine kapazitive Verstimmung auftreten kann. Seile aus Nylon sind noch

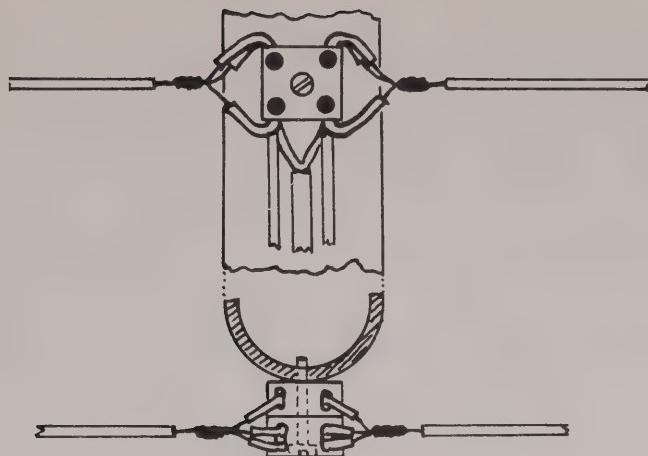


Abb. 20

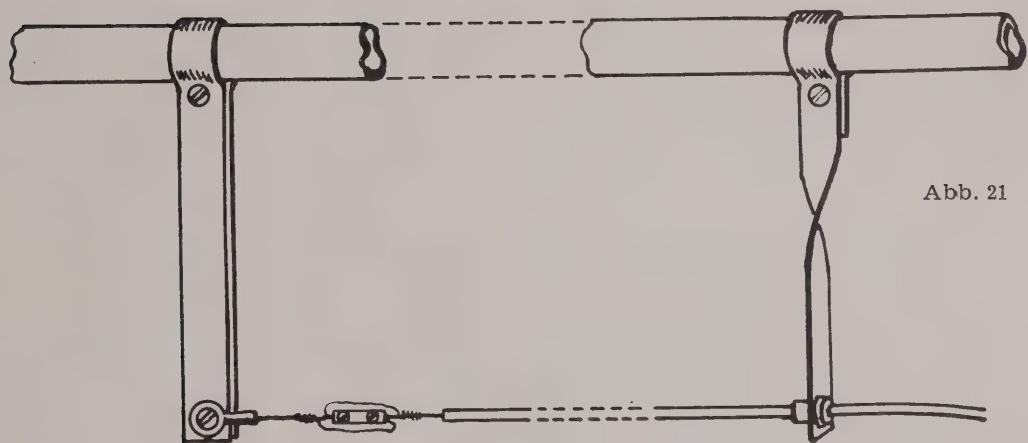


Abb. 21

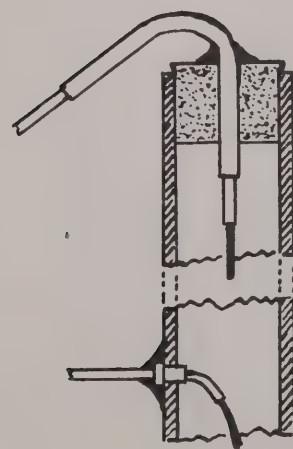


Abb. 22



Abb. 23. T-Anpassung und Abspannung beim 14-MHz-Richtstrahler

besser geeignet und vermeiden elektrische Komplikationen. Da nun aber das leichte Durchhängen der Antenne einzig das Auge stört, ist es ratsam, auf Abspannungen wo immer möglich zu verzichten. Als zweite Besonderheit wird die T-Anpassung so lang, daß eine Zwischenstütze auf jeder Seite nötig wird, wie in Abb. 21/23 ersichtlich. Beim 15- und 10-m-Richtstrahler sind Abspannung und Zwischenstütze bei der T-Anpassung unnötig.

Die offenen Rohrenden aller Elemente schließt man mit einem passenden Korkzapfen um unerwünschte Orgelkonzerte im Nachtwind zu vermeiden.

Ein wichtiges Kapitel ist der Schutzanstrich. Alle Eisenteile werden vor der Montage mit einem Rostschutzanstrich (z. B. Mennig) grundiert und dann mindestens zweimal mit der gewünschten Farbe gestrichen (z. B. Aluminium-bronze). Alle Leichtmetallteile bleiben wie sie sind. Farbschäden während der Montage werden sofort an Ort und Stelle ausgebessert. Ganz wenig Farbe und ein kleiner Pinsel genügen.

Aus der Gesamtansicht Abb. 15 geht hervor, daß die mittlere 15-m-Antenne um 90° gedreht ist. Mit dieser Maßnahme wurde beabsichtigt, gegenseitige Einflüsse zwischen den Antennen noch sicherer zu vermeiden und den Windwiderstand besser zu verteilen. Die Praxis hat aber gezeigt, daß beiden Überlegungen geringe Bedeutung zukommt und alle drei Antennen in der gleichen Richtung montiert werden können.

Lagerung des Mastes

Die Gestaltung der Lager sieht man aus Abb. 24 und 25. Es sind zwei genau gleiche Winkelträger aus 4-mm-Eisenblech mit seitlichen Verstrebungen (hartgelötet), die mit je vier kräftigen Schrauben im Dachgebälk verankert sind. Der Mast läuft in Kugellagern. Auf dem oberen Träger liegt ein Achsial-Drucklager von 65 mm Innendurchmesser (in Auto-Zubehörfirmen oder billiger beim Altwarenhändler), welches das ganze Antennengewicht trägt. Es wird mit vier Metallklötzen auf dem Winkelträger aufgeschraubt. Zwischen dem 60-mm-Mast und dem 65-mm-Lager befindet sich ein Paßring. Er wird aus einem ca. 4 cm langen Rohrstück angefertigt. Der untere Rand des Ringes wird so abgedreht, daß er sich genau zwischen Mast und Lager einfügt. Mit drei auf dem Umfang gleichmäßig verteilten Schrauben wird der Paßring auf dem Mast fixiert.

Das untere Lager ist umgekehrt, von unten her montiert. Es dient nur der Führung und ist deshalb ein gewöhnliches Radiallager, ebenfalls von 65 mm Durchmesser. Alles übrige ist mit dem oberen Lager identisch.

Obwohl Kugellager wegen ihres leichten Laufes wohl die beste Lösung sind, können ebenfalls Reibungslager einfacher Konstruktion gebaut werden, die bei guter Schmierung vollauf genügen.

Der Abstand zwischen dem oberen und untern Lager soll genügend groß sein, damit die Hebelkräfte bei Sturm nicht übermäßig werden. Der Abstand von 1,5 m ist ein vernünftiger Richtwert. Das obere Lager soll so nahe wie möglich bei der Dachdurchführung sein, damit dort die Schwankungen des Mastes gering bleiben. Beim Montieren der Lager wird mit dem Lot sorgfältig geprüft, ob sie genau senkrecht übereinander liegen.

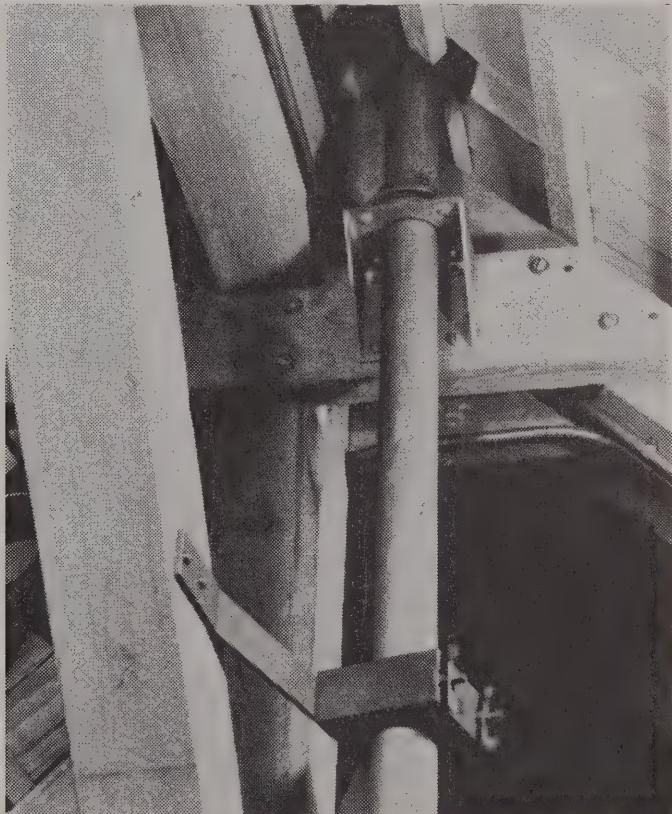


Abb. 24
Oberes Mastlager
und die Antennen-
blockierung

Führung der Speiseleitung

Das Hinunterführen der Speiseleitungen im Innern des Mastes löst alle Durchführungs- und Drehprobleme. Wie in Fig. 25 ersichtlich, hängen die drei 150-Ohm-Speiseleitungen unten zum offenen Mastrohr in einem losen Bogen heraus und werden dann zur Station geführt. Sie hängen völlig frei, sind also weder unter sich, noch gegenüber der Wandung des Rohres distanziert. Der Mast kann mehrmals um 360° gedreht werden, ohne daß die Speiseleitungen sich verwickeln. Irgendwelche elektrischen Nachteile wurden nicht festgestellt. Müssten dicke, wenig flexible Kabel verwendet werden, so kann die Stromabnahme über Schleifringe erfolgen. Auch induktive Übertragung am untern Mastende nach Angabe in der Fachliteratur³⁾ ist möglich, doch ist zu bedenken, daß die ununterbrochene Energieübertragung von der Station zur Antenne über eine homogene Speiseleitung Fehler und Verluste am besten vermeidet.

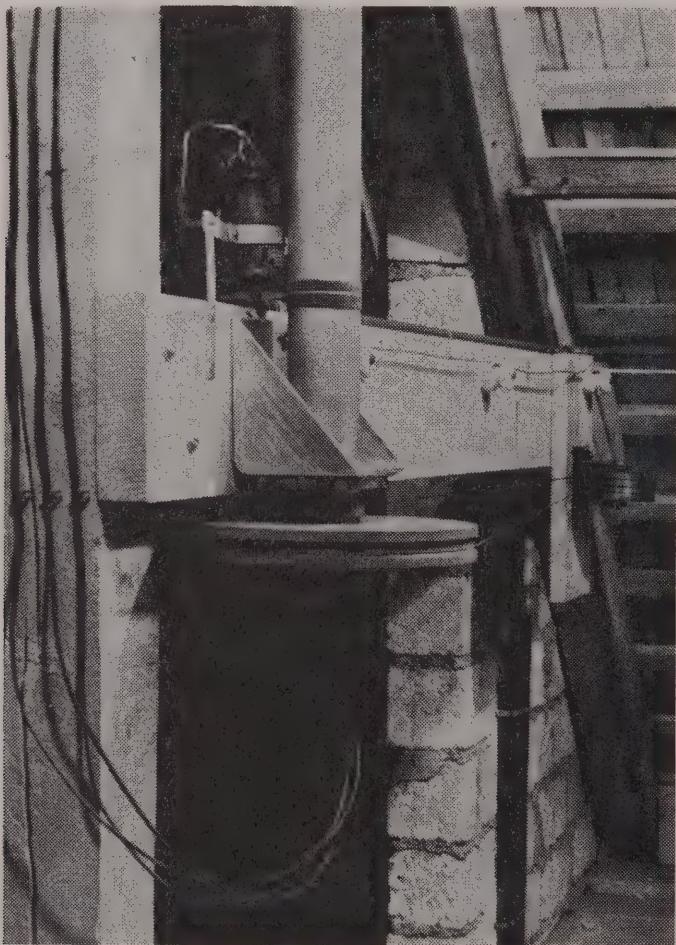


Abb. 25

Unteres Mastlager. Die am Mastende aufgesetzte Radscheibe ist aus Hartholz angefertigt. Der Seilzug führt über ein Umlenkrollenpaar zum Arbeitsraum. Der Geber-Selsyn über dem Mastlager hat eine Antriebsscheibe mit gleichem Durchmesser wie der Mast und wird federnd angedrückt. Die drei Speiseleitungen hängen in losem Bogen zum Mast heraus.

Antrieb

Ein Richtstrahler kann nur dann voll ausgenützt werden, wenn er vom Arbeitstisch des Operateurs aus leicht und schnell gedreht werden kann.

Wenn es sich machen lässt, ist dem Handradantrieb über Seilzug und Rollen der Vorzug zu geben. Er ist einfach, billig, geräuschlos und radiostörfrei,

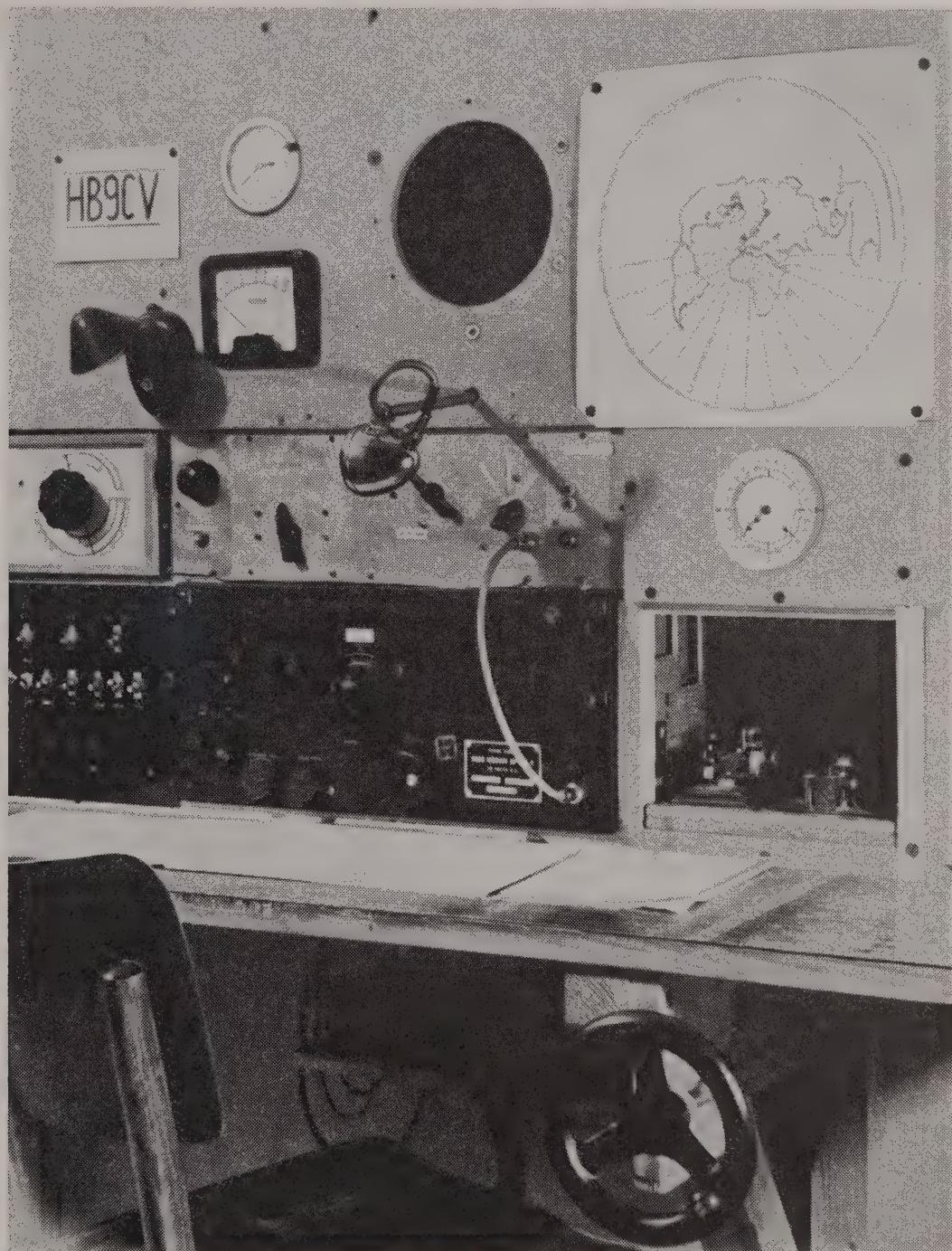


Abb. 26. Arbeitsplatz mit Handrad, Selsyn-Richtungsanzeige und Azimutal-Weltkarte

was man von Motorantrieben nicht immer behaupten kann. Abb. 25 zeigt den Mastantrieb über Seilzug, während in Abb. 26 unten rechts das Handrad am Arbeitstisch sichtbar ist. Als Seilzug eignen sich dünne Stahl - Litzenkabel, die man in Auto-Zubehörfirmen billig erstehten kann. Damit die Seilspannung gleichmäßig bleibt, schaltet man in den Kabelzug an passender Stelle eine starke Stahlfeder in Serie.

Schließlich sei darauf hingewiesen, daß hauptsächlich amerikanische Firmen fixfertige Motorantriebe mit dazugehöriger Fernanzeige in allen Größen und guter Ausführung liefern.

Richtungsanzeige

Der Operateur sollte natürlich jederzeit wissen, wohin sein Richtstrahler zeigt. Da die Antennenbündelung ziemlich breit ist, genügt eine Genauigkeit der Richtungsanzeige von ± 10 bis 15° vollständig. Bei Seilantrieb kann am Seil selber eine lineare Richtungsanzeige angebracht werden, sofern es zum Teil durch den Arbeitsraum führt. Eine weitere einfache Lösung besteht in kreisförmig am Mast angeordneten Kontakten, die im Arbeitsraum kleine Lämpchen einschalten. Bereits mit acht Lämpchen ergibt sich eine noch grobe aber genügend genaue Richtungsanzeige. Eine andere Lösung besteht in der Verwendung eines Potentiometers, das vom Mast angetrieben ist und im Arbeitsraum ein Volt- oder Ampermeter beeinflußt. Wenn die Speisespannung stabil ist, erhält man eine recht gute und kontinuierliche Richtungsanzeige.

Die perfekte Lösung besteht in der Benutzung eines Geber- und Empfänger-Selsyns (Abb. 25/26), welche eine immer gleichbleibend genaue Richtungsanzeige gewährleistet. In Abb. 26 sieht man über dem Handrad die kleine Scheibe des Empfänger-Selsyns und darüber die Azimutal-Weltkarte. Eine solche Anordnung erlaubt, die Antenne schnell und leicht nach jedem Land der Erde zu richten.

Fixierung bei Nichtgebrauch

Dem Autor ist das Pech widerfahren, daß ausgerechnet bei längerer Landesabwesenheit ein heftiger Sturm den Seilzug zerriß und die Antenne unzählige Male herumdrehte, so daß die Speiseleitungen einen wirren Knäuel bildeten.

Um solche Zwischenfälle zu vermeiden, sollte der Mast selber blockiert werden und der Antrieb entlastet sein. Die in Abb. 24 sichtbare Bremse hat sich gut bewährt. Sie besteht einfach aus zwei hölzernen Bremsbacken, die bei Nichtgebrauch mit zwei Flügelmuttern fest zugeschraubt werden. Die eine Bremsbacke ist über ein kräftiges Eisenband am Dachgebälk verankert.

Funkverkehr mit Drehrichtstrahler

Der Übergang von gewöhnlichen Antennen zu einem Drehrichtstrahler ist ohne Übertreibung ein begeisterndes Erlebnis. Man kennt seine Station nicht wieder und gewinnt den Eindruck, als ob eine neue Welt sich öffne. Ferne Länder, von denen man nie einen Ton hörte, sind plötzlich da und können leicht erreicht werden. Wenn beide Partner einer Fernverbindung einen guten Richtstrahler haben, können bei guten Bedingungen Resultate erzielt werden, die auch im heutigen Zeitalter der Superlative als wunderbar empfunden werden. Ist etwa eine Telephonieverbindung Schweiz—Australien mit der Leistung von 12 Watt und der Lautstärke 8 bis 9 nicht wunderbar?

Wenn mit der gleichen Station ein geschickter Amateur mehr erreichen kann als ein ungeschickter, trifft das auch bei der Bedienung des Richtstrahlers zu. Er braucht einige Übung, bis man die Ausbreitungswege kennt und sich der Vorteile des Richtstrahlers auf wirkungsvollste Weise bedienen kann. Dann ist er aber eine einzigartige Hilfe um seltene und schwache Stationen trotz aller Widerwärtigkeiten zu hören und zu erreichen.

Interessant dürfte noch der Hinweis sein, daß für internationale Amatorenwettbewerbe ein Drehrichtstrahler nicht unbedingt die beste Antenne ist. Erfahrene Wettbewerbsliebhaber ziehen oft eine gute Ground Plane vor, weil sie gleichzeitig aus allen Richtungen guten Empfang haben und mehr hören. Bei dem kurzen zu übermittelnden Text spielt die Güte der Verbindung sowie Störungen eine untergeordnete Rolle. Geschwindigkeit ist alles und die Bedienung des Richtstrahlers ist nur Zeitverlust.

Abgesehen von diesem Spezialfall sind die frappanten Vorteile von Drehrichtstrahlern offensichtlich. Keine Maßnahme zur Verbesserung einer Station trägt reichere Früchte als der Bau einer solchen Antenne.

- . . -

Literatur

- ¹⁾ F. Vilbig, Lehrbuch der Hochfrequenztechnik, Band I
- ²⁾ Radio and Television News, Oktober 1951
- ³⁾ The Radio Amateur's Handbook, ARRL
The ARRL Antenna Book
Karl Rothammel, DM 2 ABK, Antennenbuch, Franckh, Stuttgart
- ⁴⁾ Oxley-Nowak, Antennentechnik



Rudolf Arthur Baumgartner ist sowohl als Amateur wie auch beruflich mit der Radiotechnik verbunden. Am 11. Oktober 1914 in Bern geboren, begann er sich im Alter von 20 Jahren lebhaft für die Hochfrequenztechnik zu interessieren. 1937 erlangte er die Amateur-Sendelizenz. Seine elektrotechnischen Studien schloß er 1943 ab. Dann war er in den Firmen Brown Boveri, Baden (Schweiz) und Hasler, Bern, auf dem Gebiet der Trägerfrequenztechnik tätig. 1947 trat er in den Bundesdienst und ist heute Hochfrequenzingenieur im Eidgenössischen Militärdepartement.

Seine praktischen Erfahrungen als Amateur waren ihm sowohl in seiner zivilen wie militärischen Laufbahn von großem Nutzen. Seit Beginn des zweiten Weltkrieges bei den Übermittlungstruppen der Schweizer Armee eingeteilt, bekleidet er heute den Grad eines Majors.

Als begeisterter Amateur baute Baumgartner seine Station in jungen Jahren vollständig selber. Heute übt er seine Liebhaberei gemäßiger aus. Seine 100-Watt-Station hat er definitiv ausgebaut und erfreut sich hauptsächlich am dx-Verkehr mit seinen Freunden in aller Welt.

Die letzte größere Arbeit waren die Versuche und der Bau der in diesem Buch beschriebenen Antenne. Die guten Ergebnisse haben sein Interesse an der Weiterentwicklung von Richtstrahlantennen geweckt. Bereits sind Versuche zur weiteren Verbesserung auf neuartigen Grundlagen in Vorbereitung.

